



**Ivo Costa dos Santos Pinto**

Licenciado em Engenharia do Ambiente

## **Estudo de acidificação de um composto de resíduos verdes alcalino**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente – Perfil de Engenharia Sanitária

**Orientadora:** Doutora Ana Isabel Espinha da Silveira, Professora Auxiliar, FCT/UNL

**Júri:**

**Presidente:** Professora Doutora Maria da Graça Madeira Martinho

**Arguente:** Professora Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha-Queda

**Vogal:** Professora Doutora Ana Isabel Espinha da Silveira



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro 2013**

# **Estudo de acidificação de um composto de resíduos verdes alcalino**

® Ivo Costa dos Santos Pinto

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*A saúde do solo, plantas, animais e do Homem é una e indivisível.*

Albert Howard (1873 – 1947)

Aos meus pais.

À Célia, Carla e ao Lucas.

## AGRADECIMENTOS

A concretização da presente dissertação só foi possível graças à contribuição de várias pessoas e entidades, a quem gostaria de expressar o meu sincero reconhecimento.

À Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Silveira pela disponibilidade de orientação, coordenação, apoio, incentivo, palavra amiga, conhecimentos científicos transmitidos e discutidos.

Aos funcionários e meus colegas do Laboratório de Águas e Resíduos do DCEA, pela amizade, cooperação e apoio laboratorial, em especial à Eng.<sup>a</sup> Maria Correia, ao Eng.<sup>o</sup> Luís Carita, à Vânia e ao Pedro.

Aos professores do DI e do DCEA pelo que me ensinaram e fizeram aprender.

À minha família pelo carinho, paciência, encorajamento ao longo de todos os anos.

Com influência indirecta ao culminar da presente dissertação, agradeço à Ana, Bete, Sílvia e ao André, Diogo, Duarte, Fachadas, Fred, Quim, pelos momentos de boa convivência durante o percurso académico, e a todos os amigos não referidos que de igual modo contribuíram com a força necessária.



## RESUMO

O objectivo principal da presente dissertação consiste em acidificar a pH 6 um composto de resíduos verdes (CRV) fortemente alcalino. O CRV foi acidificado produzindo novos compostos, por mistura dos substratos orgânicos, caruma e casca de pinheiro (compostos Cr1, Cr2 e Csc), e de enxofre elementar ( $S^0$ ) (os compostos de 0.5D a 1.5D).

A acidificação de compostos alcalinos pode criar um produto atractivo visto que o pH é importante para a fertilidade agrícola, dado que em função da quantidade aplicada de composto, modifica o pH dos substratos de crescimento no qual a maioria das espécies vegetais desenvolve-se preferencialmente em meios ligeiramente ácidos, ou quase neutros.

Durante o ensaio de estabilização da matéria orgânica (MO) fresca de Cr1, de classe II de estabilidade, verifica-se que este composto perde gradualmente a acidez, produzindo um novo composto Cr2 de pH 7,8. O composto Csc é um composto estável (classe V), motivo pelo qual não se procedeu à estabilização da matéria orgânica fresca.

A aplicação de  $S^0$  no CRV, durante o ensaio de incubação em condições ambientais controladas, demonstrou que a acidificação contribui proporcionalmente no aumento da condutividade eléctrica (CE) ( $R^2 = 0,988$ ), porém o ensaio pode aumentar a maturação dos compostos. O composto que obteve a maior acidez foi 1.5D com pH de 6,1, CE de 3,8 dS.m<sup>-1</sup> e uma eficiência de acidificação de 89,2%.

Por determinação da resposta da planta com couve chinesa, segundo a EN 16086-1:2011, foi observado que a mistura de substratos orgânicos ácidos induziu a efeitos negativos significativos no crescimento das plantas, contudo os compostos obtidos no ensaio de incubação com  $S^0$  potenciam o seu crescimento.

Cr2 e Csc são compostos maturados de acordo com os resultados do teste de auto-aquecimento porém, estes compostos evidenciaram efeitos fitotóxicos no desenvolvimento das plantas.

Os compostos Cr1, Csc e 1.5D alcançaram o objectivo de acidez pretendida de pH 6, ou um valor próximo, no entanto as metodologias de acidificação evidenciam problemas de robustez e precisão.

**Palavras-chave:** Acidificação; Caruma; Casca de pinheiro; Composto; Enxofre; Resíduos verdes.





## ABSTRACT

The main aim of present dissertation consists on acidifying to pH 6, a highly alkaline green litter compost (CRV). This compost was acidified in new ones, by mixing the organic substrates pine straw and bark (Cr1, Cr2 and Csc composts), and by adding elemental sulphur ( $S^0$ ) (0.5D to 1.5D composts).

Acidifying alkaline composts can develop an attractive product, since pH is important for agricultural fertility. In function of compost added quantity, may have a tendency to change soil and growing media pH, in which most of the vegetal species prefers to grow on slightly acidic or near neutral pHs.

During the stabilization essay of Cr1, a class II of stability compost obtained by mixture of fresh pine straw, verified that this compost gradually misses his acidity, producing the Cr2 compost with a pH 7,8. The Csc compost is stable (class V), reason why wasn't performed the stabilization of the fresh organic matter.

The  $S^0$  addition on CRV, during the incubation essay at room environment, reflected that these acidification contributes to a proportional increase on electrical conductivity (CE) ( $R^2 = 0,988$ ), however this method can increase composts maturity. The most acidic compost was 1.5D with a pH value of 6,1, CE of 3,8 dS.m<sup>-1</sup> and an acidification efficiency of 89,2%.

By determination of plant response with Chinese cabbage, by EN 16086-21:2011, was observed that the mixture of the acidic organic substrates induced significant negative effects on plants growth, nevertheless the ones obtained by incubation essay with  $S^0$ , improve their growth.

Needs to be emphasized that, Cr2 and Csc are assigned as mature composts by the auto-heating test, however this analogy is wrong due the evidence of phytotoxic effects on plants growth.

Cr1, Csc and 1.5D reached the aimed acidity of pH 6, or near value, although this acidification method presents problems of robustness and precision.

**Key-words:** Acidification; Compost; Green litter; Pine bark; Pine straw; Sulphur.



## ÍNDICE DE MATÉRIAS

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Revisão bibliográfica.....</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Compostagem</i> .....	5
2.1.1 Conceito, perspectiva história e evolução .....	5
2.1.2 Fases do processo de compostagem .....	7
2.1.3 Factores principais do processo de compostagem.....	9
2.2 <i>Usos agrícolas e regulamentação do composto</i> .....	12
2.2.1 Correctivo de solos.....	14
2.2.2 Suporte de cultura.....	14
2.2.3 Técnicas agrícolas alternativas e outros usos .....	15
2.2.4 Regulamentação do composto.....	17
2.2.5 Considerações sobre a estabilidade e maturação do composto .....	19
2.3 <i>Acidificação do composto</i> .....	21
2.3.1 Substratos orgânicos ácidos.....	22
2.3.2 Produtos químicos .....	24
2.4 <i>Paramêtros qualitativos de suportes de cultura</i> .....	26
2.4.1 pH.....	26
2.4.2 Sais solúveis .....	27
2.4.3 Matéria orgânica.....	28
2.4.4 Granulometria, porosidade e capacidade de retenção de água .....	29
2.4.5 Capacidade de troca catiónica .....	29
2.5 <i>Produção de suportes de cultura</i> .....	30
2.5.1 Considerações de produção .....	30
2.5.2 Substratos de mistura orgânicos .....	30
2.5.3 Fertilizantes agrícolas.....	34
<b>3. Plano experimental.....</b>	<b>35</b>
<b>4. Materiais e métodos.....</b>	<b>37</b>
4.1 <i>Composto de resíduos verdes (CRV)</i> .....	37
4.2 <i>Substratos acidificantes</i> .....	37
4.3 <i>Caracterização físico-química</i> .....	38
4.4 <i>Ensaio de acidificação</i> .....	39
4.4.1 Caruma e casca de pinheiro.....	39
4.4.2 Enxofre elementar .....	39
4.5 <i>Ensaio de estabilização</i> .....	41
4.6 <i>Análise da estabilidade/maturação</i> .....	42
4.6.1 Teste de auto-aquecimento em vasos de Dewar .....	42
4.6.2 Ensaio de determinação da resposta das plantas .....	43

4.7	<i>Tratamento dos resultados</i> .....	45
<b>5.</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>47</b>
5.1	<i>Caracterização do CRV</i> .....	47
5.2	<i>Acidificação do CRV com substratos orgânicos ácidos</i> .....	48
5.2.1	Caracterização dos resíduos .....	48
5.2.2	Análise do efeito acidificante .....	49
5.2.3	Ensaio de estabilização da caruma de pinheiro .....	50
5.2.4	Teste de auto-aquecimento dos compostos obtidos.....	51
5.3	<i>Acidificação do CRV com S<sup>o</sup></i> .....	54
5.3.1	Determinação da dose correctiva.....	54
5.3.2	Ensaio de incubação com S <sup>o</sup> .....	55
5.3.3	Análise da eficiência de acidificação .....	57
5.4	<i>Ensaio de determinação da resposta das plantas</i> .....	59
5.5	<i>Síntese de caracterização e análise de efeitos secundários nos compostos obtidos</i> .....	64
<b>6.</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>67</b>
<b>7.</b>	<b>Perspectivas futuras</b> .....	<b>69</b>
	<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>71</b>
	<b>Anexos</b> .....	<b>77</b>
I.	<i>Caracterização dos lotes de CRV e compostos acidificados obtidos</i> .....	79
II.	<i>Acidificação do CRV com substratos orgânicos</i> .....	83
III.	<i>Acidificação do CRV com enxofre elementar</i> .....	87
IV.	<i>Ensaio de Determinação da resposta das plantas</i> .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Sucessão de populações em compostagem. ....	7
<b>Figura 2.2</b> – Influência da temperatura na taxa de geração populacional dos microrganismos psicofílicos, mesofílicos e termofílicos no composto. ....	10
<b>Figura 2.3</b> – Conjunto de calhas e planta após colheita, associadas à técnica agrícola hidropónica (a); e adaptação do sistema de irrigação utilizado na fertirrega dos cultivos (b). ....	15
<b>Figura 2.4</b> – Evolução da área em exploração agrícola biológica na UE e em Portugal. ....	16
<b>Figura 2.5</b> – Influência do pH na disponibilidade dos nutrientes assimiláveis pelas plantas, em solos ligeiramente a moderadamente erodidos. ....	27
<b>Figura 2.6</b> – Local de extracção e secagem de turfa, na Irlanda. ....	32
<b>Figura 2.7</b> – Resíduos florestais: (a) aparas de madeira; (b) casca de pinheiro; e (c) caruma de pinheiro. ....	33
<b>Figura 4.1</b> – Ilustração dos equipamentos utilizados no ensaio estabilização. ....	41
<b>Figura 4.2</b> – Ilustração de dois vasos de Dewar utilizados no teste de auto-aquecimento. ....	42
<b>Figura 4.3</b> – Ensaio de determinação da resposta das plantas. ....	43
<b>Figura 4.4</b> – Ensaio de determinação da resposta das plantas: (a) planta uma folha verdadeira a meio e (b) planta com cinco folhas verdadeiras, com os dois cotilédones não numerados. ....	44
<b>Figura 5.1</b> – Análise do efeito acidificante: Caruma de pinheiro triturada a 1 e 10 mm. ....	49
<b>Figura 5.2</b> – Análise do efeito acidificante: Casca de pinheiro triturada a 1 e 10 mm e respectivas linhas de tendência a tracejado. ....	50
<b>Figura 5.3</b> – Ensaio de estabilização: Evolução do pH e CE no composto Cr1. ....	51
<b>Figura 5.4</b> – Teste de auto-aquecimento: composto Cr1. ....	52
<b>Figura 5.5</b> – Teste de auto-aquecimento: composto Cr2. ....	52
<b>Figura 5.6</b> – Teste de auto-aquecimento: composto Csc. ....	52
<b>Figura 5.7</b> – Teste de auto-aquecimento: composto Csc, humedecido a 40%. ....	53
<b>Figura 5.8</b> – Curva de titulação da acidificação do CRV. ....	54
<b>Figura 5.9</b> – Ensaio de incubação com S <sup>o</sup> : Evolução do pH. ....	56
<b>Figura 5.10</b> – Ensaio de incubação com S <sup>o</sup> : Correlação entre o aumento da CE (CE <sub>f</sub> ) e o decréscimo do pH (pH <sub>f</sub> ), após o fim do ensaio. ....	57
<b>Figura 5.11</b> – Comparativo dos resultados de acidificação do CRV: pH teórico da curva de titulação e pH final do ensaio de incubação em função da quantidade de S <sup>o</sup> aplicada em CRV. ....	57
<b>Figura 5.12</b> – Ensaio de determinação da resposta das plantas: taxa de germinação média e inibição de germinação. ....	59
<b>Figura 5.13</b> – Ensaio de determinação da resposta das plantas: peso fresco médio e inibição de crescimento. ....	60
<b>Figura 5.14</b> – Ensaio de determinação da resposta das plantas: Ilustrações de fitopatologias: (a) clorose e (b) queimadura foliar. ....	63



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – RUB admissíveis para deposição em aterro, em relação à produção de RUB no ano de 1995, nos estados membros da UE. ....	2
<b>Tabela 2.1</b> – Razão C:N de diversos resíduos e materiais correctivos utilizados em compostagem. ....	11
<b>Tabela 2.2</b> – Metais pesados, materiais antropogénicos, pedras e microrganismos patogénicos – Valores máximos admissíveis dos contaminantes nas classes de composto. ....	18
<b>Tabela 2.3</b> – Graus de maturação do composto. ....	20
<b>Tabela 2.4</b> – Parâmetros aplicados na avaliação integrada dos índices de estabilidade e maturação. ....	21
<b>Tabela 2.5</b> – Matriz de avaliação do grau de maturação. ....	21
<b>Tabela 2.6</b> – Características físico-químicas preferenciais do composto para mistura em suportes de cultura. ....	31
<b>Tabela 2.7</b> – Tipos e nome dos fertilizantes agrícolas comuns. ....	34
<b>Tabela 4.1</b> – Classes de estabilidade do composto. ....	43
<b>Tabela 5.1</b> – Caracterização do CRV: parâmetros físico-químicos. ....	47
<b>Tabela 5.2</b> – Caracterização do CRV: granulometria. ....	48
<b>Tabela 5.3</b> – Caracterização dos resíduos verdes de pinheiro: parâmetros físico-químicos. ....	48
<b>Tabela 5.4</b> – Teste de auto-aquecimento: Classe de estabilidade dos compostos Cr1, Cr2 e Csc. ....	53
<b>Tabela 5.5</b> – Ensaio de incubação com S <sup>o</sup> : Quantidade de S <sup>o</sup> adicionado, pH inicial (pH <sub>i</sub> ), pH teórico (pH <sub>t</sub> ), pH final (pH <sub>f</sub> ), eficiência de acidificação (ea) e CE final (CE <sub>f</sub> ) das amostras testadas e de controlo. ....	55
<b>Tabela 5.6</b> – Síntese de resultados do CRV e os obtidos no ensaio de incubação para os compostos 1D e 1.5D em relação à qualidade do S <sup>o</sup> e à eficiência de acidificação. ....	58
<b>Tabela 5.7</b> – Caracterização geral de compostos acidificados obtidos. ....	64





## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

°C	Unidade de medida de temperatura - grau Celcius
*0D	Composto de controlo obtido no ensaio de incubação, sem adição de S° no CRV (fracção inferior a 2 mm)
*1D	Composto organo-mineral obtido no ensaio de incubação, por adição ao CRV (fracção inferior a 2 mm) de uma quantidade de S° correspondente à dose D
0.5D; 0.75D; 1D; 1.25D; e 1.5D	Compostos organo-minerais obtidos no ensaio de incubação, por adição ao CRV (não crivado) de uma quantidade de S°, em relação à dose D
0D	Composto de controlo obtido no ensaio de incubação, sem adição de S° no CRV (não crivado)
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
C.E.	Comissão Europeia
ca.	Expressão da língua latina “circa”, que significa “aproximadamente” ou “por volta de”
CCME	<i>Canadian Council of Ministers of the Environment</i>
CCQC	<i>California Compost Quality Council</i>
CE	Condutividade Eléctrica
cmolc	Quantidade química em centímoles de cargas positivas
Cr1	Composto obtido por mistura de CRV com uma 50% (em m.s.) de caruma de pinheiro triturada a 1 mm
Cr2	Composto obtido por estabilização da fracção orgânica do composto Cr1
CRV	Composto de Resíduos Verdes
Csc	Composto obtido por mistura de CRV com uma 79% (em m.s.) de casca de pinheiro triturada a 10 mm
CSU	<i>Compost Science &amp;Utilization</i>
CTC	Capacidade de Troca Catiónica
D	Dose correctiva de S°
ECN	<i>European Compost Network</i>
EEA	<i>European Environment Agency</i>
ENRRUBDA	Estratégia Nacional para a Redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados a Aterro
EPAGMA	<i>European Peat and Growing Media Association</i>
et al.	Expressão da língua latina “et alii”, que significa “e outros”
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais

<b>H<sup>+</sup></b>	Fórmula química do ião elementar hidrogénio
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Fórmula química da água
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Fórmula química do ácido sulfúrico
<b>ha</b>	Unidade de medida de área - hectare
<b>ICNF</b>	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
<b>InC</b>	Inibição de Crescimento
<b>InG</b>	Inibição de Germinação
<b>l</b>	Unidade de medida de volume - litro
<b>m.s.</b>	Matéria seca
<b>m/v</b>	Unidade de concentração mássica
<b>meq</b>	Quantidade química em miliequivalentes
<b>MO</b>	Matéria Orgânica
<b>n.d.</b>	Não detectado
<b>PERSU II</b>	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos II
<b>PFm</b>	Peso Fresco médio
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>RUB</b>	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
<b>s.d.</b>	Sem data
<b>S°</b>	Fórmula química do enxofre elementar
<b>t</b>	Unidade de massa medida de - tonelada
<b>TGm</b>	Taxa de Germinação média
<b>UE</b>	União Europeia
<b>USCC</b>	<i>The United States Composting Council</i>
<b>Vtit</b>	Volume de titulação
<b>WRAP</b>	<i>Waste and Resources Action Programme</i>

## 1. INTRODUÇÃO

Na actualidade, há uma persistência por práticas agrícolas intensivas baseadas na produtividade dos cultivos que excluem o uso de composto em detrimento do valor ecológico das colheitas, o que erroneamente está associado a um pior retorno financeiro.

A fracção orgânica de compostos maturados é benéfica ao solo e valorizada pelos agricultores por contribuírem para o aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, na activação da população microbiana e conferirem um efeito de supressão de doenças propagáveis pelo solo (Hoitink *et al.*, 1996).

Um uso agrícola de composto de qualidade deve-se a ser uma fonte importante de MO (Martinho *et al.*, 2011). Porém, quando aplicado nos suportes de cultura pode interferir com efeitos secundários em outros factores físico-químicos influentes no crescimento como o pH, sais solúveis, nutrientes e condições de retenção de água e de arejamento, importantes na produtividade agrícola (Avramidou *et al.*, 2013).

Os compostos de qualidade específica quando utilizados na formulação de suportes de cultura, contribuem para a sustentabilidade agrícola e ambiental, o que de igual modo dá azo à consolidação da procura crescente por produtos agrícolas ecológicos, com especificações de crescimento mais exigentes (ECN, 2010).

Devido ao facto de, certos compostos poderem condicionar com maior ou menor amplitude o pH dos substratos de crescimento de plantas, os agricultores procuram um composto de qualidade e adequado às condições de crescimento pretendidas. A alteração da acidez ou alcalinidade dos solos pode prejudicar a fertilidade, pois os cultivos agrícolas são sensíveis ao pH, um parâmetro que desempenha um factor-chave no desenvolvimento das plantas (Raviv, 2005).

De qualquer modo, o uso de composto mitiga directamente impactos ambientais em turfeiras, pois certos materiais compostados podem substituir a turfa desde que apresentem características físicas e químicas similares (García de la Fuente *et al.*, 2007). A turfa é um recurso natural amplamente utilizado na agricultura, porém a protecção ambiental promove a descontinuação do seu uso (C.E., 2007a e 2006).

Considerando que, alguns compostos produzidos em Portugal têm uma alcalinidade excessiva (Cunha-Queda, 2007) e à necessidade de continuar a promover o escoamento do material compostado reciclado e maturado, anteriormente estabelecido pelo PERSU II (2007), é importante criar um valor económico acrescentado no qual o desenvolvimento de metodologias acidificação do composto podem contribuir para o aumento da sua procura e evitar as limitações agrícolas de compostos alcalinos, de encontro com as especificações de qualidade preferenciais e pretendidas pelos agricultores.

A caruma e casca de pinheiro, ambos substratos orgânicos ácidos, podem contribuir com um efeito acidificante quando aplicados no solo ou incluídos no processo de compostagem (Hunt *et al.*, 2010; Jacob, 2010). Porém, é importante realçar que a selecção de um reduzido conjunto de substratos orgânicos pode limitar a abrangência do processo de compostagem, dado que estes substratos acidificantes apenas representam uma reduzida fracção volúmica da totalidade dos substratos putrescíveis.

Em alternativa à acidificação com substratos orgânicos, nas últimas décadas foram desenvolvidos e publicados estudos sobre a acidificação de compostos estabilizados com recurso a S<sup>o</sup>, por adaptação de métodos já utilizados na acidificação de solos agrícolas (García de la Fuente *et al.*, 2007; Roig *et al.*, 2004).

Na União Europeia (UE) a directiva aterros (C.E., 1999) obrigou Portugal, e outros estados-membros, à implementação de uma estratégia nacional para a redução de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) destinados a aterro (ENRRUBDA, 2003). Esta estratégia impõe uma força motriz de redução da quantidade percentual dos RUB destinados a aterros, em termos mássicos, em relação aos depositados no ano de referência de 1995 (Tabela 1.1).

**Tabela 1.1 – RUB admissíveis para deposição em aterro, em relação à produção de RUB no ano de 1995, nos estados membros da EU.**

<b>Data</b>	<b>Percentagem admissível nos estados membros da EU</b>
<b>2006</b>	75%
<b>2009</b>	50%
<b>2016</b>	35%

Em Portugal, a percentagem de deposição de resíduos em aterro sanitário desceu de 58% no ano de 2011, para 54% em 2012, devido não só à política de gestão de resíduos, mas também à menor produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) *per capita* (Lemos, 2013). No entanto, a Portugal foi concedido um adiamento das metas de 2009 e 2016 apresentadas no ENRRUBDA (2003), para 2013 e 2020, respectivamente. Esta possibilidade de derrogação aplica-se aos países que depositaram em aterro no ano de 1995, um valor superior a 80% dos RUB recolhidos (EEA, 2013).

A política ambiental europeia tem feito esforços para que a gestão de resíduos, de acordo com a hierarquia das opções e a capacidade das infra-estruturas para o tratamento destes nos estados membros, considere a compostagem e a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, ambas mais seguras em termos ambientais em comparação com a deposição em aterro, uma opção que deve ser preterida por causar a contaminação de lençóis freáticos e a libertação de poluentes atmosféricos (C.E., 2008a; PERSU II, 2007). É evidente que tecnologias de valorização e reciclagem de RUB em muito contribuem para o aumento do tempo de vida útil dos aterros sanitários.

A compostagem é um passo intermédio entre a valorização e a reciclagem de resíduos orgânicos, porém a adequabilidade para utilização agrícola do material compostado deve ser regulamentada em função de normas de qualidade e critérios de sustentabilidade ambiental, essenciais à comercialização e certificação do composto (C.E., 2008a).

Uma política de gestão de resíduos orientada à recolha selectiva tem a finalidade de potenciar a qualidade dos resíduos recolhidos (Gonçalves, 2005), exemplo disso é um processo de compostagem exclusivamente com resíduos verdes ou com resíduos alimentares. Segundo Martinho *et al.* (2011), estes substratos produzem compostos de melhor qualidade, em comparação com a compostagem da fracção orgânica dos RSU, obtida por triagem mecânica de contaminantes. Uma opção de gestão de resíduos que incentive a recolha selectiva de resíduos verdes e de bio-resíduos é determinante para minimizar contaminações de substratos de compostagem, que influenciam negativamente a qualidade e as aplicações do material compostado (Gonçalves, 2005).

Em termos de adequabilidade para utilização agrícola do composto, a estabilidade e a maturação são os parâmetros importantes para a avaliação do seu interesse agrícola (Anónimo, 2008), porém é igualmente essencial determinar parâmetros físico-químicos chave ao desenvolvimento ideal dos cultivos, como o valor de pH, MO, e os teores de sais e nutrientes solúveis (C.E., 2007a; Cunha-Queda *et al.*, 2007).

Há interesse por parte dos agricultores em explorar substratos de crescimento que potenciem a desejada produtividade agrícola, para o qual a indução de alterações nos parâmetros de qualidade do material compostado, é uma oportunidade para a indústria da compostagem em escoar um produto com valor agrícola e ambiental.

O objectivo principal da presente dissertação consiste em estudar o efeito da mistura de caruma, casca de pinheiro e S<sup>o</sup>, na acidificação de CRV a pH 6. De modo complementar, pretende-se:

- Avaliar a influência da granulometria dos substratos orgânicos na acidificação do CRV;
- Avaliar a eficiência de acidificação com S<sup>o</sup> e a influência da granulometria do CRV no processo de acidificação;
- Verificar os efeitos significativos dos compostos obtidos e de CRV no desenvolvimento das plantas, através da norma EN 16086-1:2011.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 COMPOSTAGEM

#### 2.1.1 Conceito, perspectiva história e evolução

Haug (1993) define compostagem como *“o processo de decomposição e estabilização biológica de substratos orgânicos, no qual o calor produzido biologicamente cria condições para o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, com a produção de um produto final estável, livre de patogénicos e de sementes infestantes, e benéfico quando aplicado no solo”*.

Insam e de Bertoldi (2007) afirmam que a compostagem de resíduos orgânicos é vantajosa por reduzir a fitotoxicidade do composto e a presença de microrganismos patogénicos aos seres humanos, animais e plantas, a um nível que não constituía um risco para o ambiente e de saúde pública, de modo a produzir um produto maturado e com interesse agrícola.

Diferentes tecnologias de compostagem com controlo da temperatura, humidade e/ou arejamento, têm sido desenvolvidas e aplicadas pela indústria da compostagem com o intuito de acelerar a decomposição (Haug, 1993).

A compostagem de substratos orgânicos sempre existiu na natureza, onde o processo decorre susceptível a factores climáticos, motivo pelo qual a compostagem na natureza é lenta pois condicionam o cabal desenvolvimento do processo.

Gonçalves (2005) explicita que níveis muito baixos de humidade reduzem a taxa de decomposição, podendo mesmo impedir a actividade microbiana, enquanto níveis muito elevados de humidade estão associados a valores reduzidos de oxigénio que condicionam o desenvolvimento dos processos bio-oxidativos aeróbios.

Na compostagem industrial, o arejamento forçado é essencial por optimizar as necessidades estequiométricas de oxigénio, e contribuir para a remoção do excesso de calor e de água durante o processo (Martinho *et al.*, 2011).

No entanto, McKinley *et al.* (1985) apontam como limitação da compostagem na natureza a dificuldade em desenvolver temperaturas termofílicas, pois o calor produzido durante a decomposição por via biológica é facilmente dissipado no solo, ocorrendo todo o processo à temperatura ambiente e com taxas de decomposição inferiores às induzidas por diversos métodos de compostagem.

Desde os tempos em que o Homem começou a cultivar o solo, e a acumular os diversos resíduos orgânicos em pilhas ou em cavidades por questões de higiene e limpeza do terreno, deu conta do processo de compostagem semi-natural, e verificou o contributo do material compostado na fertilidade

dos solos, embora esta indução primitiva de compostagem seja tecnicamente incorrecta (Cordeiro, 2010; Elder, 1956).

Muitas gerações agrícolas defendiam o uso de resíduos orgânicos para fertilização dos solos, essencialmente de estrumes frescos, porém no início do século XX, reconheceram os problemas de saúde pública derivados da sua utilização, dado que a proliferação de moscas, doenças e a maus cheiros, permitiu a consciencialização de ser necessário potenciar o aproveitamento do valor fertilizante em junção com a importância de suprimir os perigos para a saúde, induzidos pelo uso agrícola de resíduos não estabilizados e não maturados (Elder, 1956). Segundo Hoitink *et al.* (1996), o composto quando fresco, estimula a actividade de microrganismos patogénicos e a solubilização de substâncias fitotóxicas ao desenvolvimento das plantas.

As mais-valias do controlo do processo de compostagem com determinados procedimentos e condições ambientais específicas são de proporcionar a aceleração da estabilidade e da maturação, e de melhoria da qualidade final do material compostado.

A compostagem induzida pelo Homem desenvolveu-se em tempos ancestrais, embora não haja registos sobre a origem. O agrónomo britânico Albert Howard, em viagem à Índia entre 1905 e 1934, reconheceu a importância da MO na fertilidade e sustentabilidade do solo, e desenvolveu a primeira técnica de compostagem conhecida, designada por método *Indore*. Este método foi amplamente difundido pois tornou-se uma alternativa de higienização em relação à convencional queima de resíduos orgânicos (Haug, 1993).

Considerado por muitos como o pai do processo de compostagem e da agricultura biológica moderna, Howard é uma das figuras principais do movimento orgânico, originado na primeira metade do século XX com o envolvimento de organizações e indivíduos a nível mundial, numa época em que práticas agrícolas intensivas e de larga escala começaram a aparecer e que contribuem acentuadamente para a degradação dos solos (Scialabba e Hattam, 2002).

Jerome Goldstein foi considerado de eco-pioneiro nos EUA por utilizar instrumentos de comunicação para a divulgação de progressos no domínio da compostagem, enquadrados com o termo de sustentabilidade ambiental, tendo editado em 1960 a revista *Compost Science*, a primeira sobre compostagem (CSU, 2012). Segundo a BioCycle (2013), Goldstein justifica a publicação da *Compost Science*, com o intuito de conceber um centro de informação necessário à conservação dos recursos naturais contidos nos resíduos municipais, agrícolas e industriais por valorização orgânica destes em produtos com nova utilidade. Em 1978, Goldstein funda a editora *The JG Press, Inc* e decide continuar a publicação da revista sob o título de *Compost Science/Land Utilization*. Porém, de modo a evidenciar o potencial da reciclagem biológica para o fluxo de resíduos orgânicos, em 1981 renomeia a revista de *BioCycle*, que nos dias de hoje continua a documentar a evolução e as soluções adoptadas em diversos problemas inertes ao desenvolvimento da compostagem como ciência.

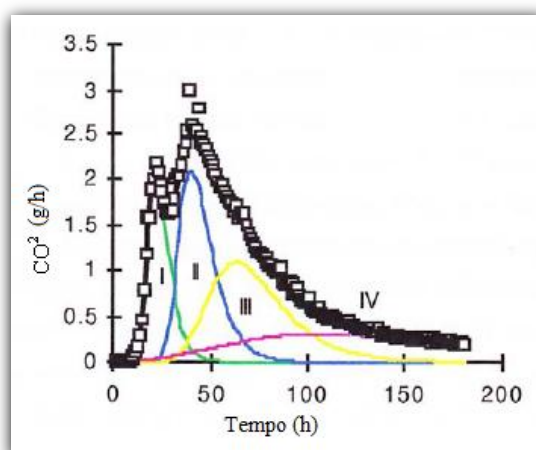


Em 1993, *The JG Press, Inc* publica o primeiro número do jornal científico *Compost Science & Utilization*, também editado por Goldstein, com o objectivo de reforçar a interacção entre utilizadores e investigadores do composto, e de melhorar o controlo do processo de compostagem e a qualidade da material compostado (BioCycle, 2013).

Segundo a CSU (2012), a visão de Goldstein para a *Compost Science & Utilization* foi realizada dado que, compostos de elevada qualidade são amplamente utilizados, novos projectos de compostagem são planeados realisticamente, e a “aparente disparatada” interacção entre a ciência de compostagem com a ciência computacional foi consolidada, o que permite otimizar o processo.

### 2.1.2 Fases do processo de compostagem

Silveira (1999) desenvolveu um modelo cinético para o processo de compostagem, que permite identificar quatro populações sequenciais de microrganismos activos e responsáveis pela decomposição da MO em cada fase do processo, identificados na Figura 2.1 com a numeração romana de I a IV.



**Figura 2.1 – Sucessão de populações em compostagem.**  
(Fonte: Silveira, 1999)

De acordo com a Figura 2.1, a emissão de dióxido de carbono durante o processo de compostagem indica uma maior ou menor decomposição de MO proporcional à actividade das populações microbianas I, II, III e IV que, respectivamente, são influentes em cada uma das seguintes fases descritas.

#### ***Fase mesofílica***

Na fase mesofílica, as proteínas e açúcares facilmente biodegradáveis e abundantes são substratos degradados por decompositores primários como fungos e bactérias (Insam e de Bertoldi, 2007).

Nesta fase inicial, devido à produção de calor da actividade microbiana, pode haver uma elevação acentuada de temperatura, a população microbiana mesofílica, dominante de 25 a 40 °C, é substituída

por uma nova população capaz de suportar temperaturas mais elevadas, em uma fase termofílica (Martinho *et al.*, 2011).

### ***Fase termofílica***

A população termofílica de modo gradual e por maior adaptação à temperatura, ganha vantagem competitiva e praticamente substitui a anterior população mesofílica, dando continuidade à decomposição da matéria facilmente biodegradável, de modo rápido e acelerado, até um pico de temperatura de 62 °C (Insam e de Bertoldi, 2007).

Nesta fase, é conveniente garantir um arrefecimento dos substratos em compostagem, pois a população termofílica têm um funcionamento otimizado a 55 °C, porém a actividade de bactérias e fungos termotolerantes pode elevar a temperatura do processo a 80 °C, e em consequência interromper a biodegradação, pois os microrganismos termofílicos são destruídos a temperaturas acima de 65 °C. A fase termofílica acaba quando há exaustão de substâncias facilmente biodegradáveis (Insam e de Bertoldi, 2007).

Segundo Hoitink *et al.* (1996), esta é uma fase importante na higienização do composto, pois suprime parte considerável dos agentes fitotóxicos, resultantes da degradação orgânica, e de sementes infestantes viáveis incluídas nos substratos utilizados no processo de compostagem.

### ***Fase de arrefecimento***

A população mesofílica recoloniza a biomassa, com funções distintas da população da primeira fase vocacionada para decompor açúcares e proteínas, nesta fase degrada substâncias mais complexas, essencialmente hemicelulose e celulose (Insam e de Bertoldi, 2007).

Nesta fase a produção de calor resultante da degradação da MO não supera as perdas de calor no substrato, sendo responsável por um decréscimo de temperatura até atingir a temperatura ambiente (Martinho *et al.*, 2011), o que determina o final da fase activa de compostagem.

A fase de arrefecimento é de transição para a posterior fase de maturação, na qual os microrganismos saudáveis e benéficos à agricultura reestabelecem-se plenamente na biomassa (Shaffer, 2010). As fases precedentes podem esterilizar e condicionar parte da vida microbiana devido ao desenvolvimento de temperaturas elevadas e eventuais teores reduzidos de oxigénio ou de humidade excessiva na pilha de compostagem.

### ***Fase de maturação***

Nesta fase desenvolve-se uma nova população microbiana, composta por fungos e actinomicetas adaptada à temperatura ambiente e que decompõe parcialmente as substâncias lentamente

biodegradáveis como a hemicelulose, celulose e quitina, e de outras mais resistentes lenho-celulósicas, de modo a serem decompostas posteriormente por bactérias (Insam e de Bertoldi, 2007).

A fase de maturação caracteriza-se pela formação de agregados de húmus, uma substância estruturalmente complexa e favorável à perservação de formas de vida benéficas ao composto (Gonçalves, 2005), e pela redução de substância fitotóxicas essenciais à adequabilidade agrícola do composto (Shaffer, 2010).

### **2.1.3 Factores principais do processo de compostagem**

A presença de nutrientes, condições de temperatura, humidade e pH são factores importantes para o desenrolar do processo de compostagem, dado que um equilíbrio entre estes é essencial à actividade dos microrganismos aeróbios que biodegradam a fracção orgânica durante a síntese celular.

O arranque do processo de compostagem é pouco sensível ao pH dos substratos, no entanto, a MO e a presença de carbono e azoto, ambos correlacionados com a razão C:N, são parâmetros químicos de controlo fundamentais dado que incidem na fracção orgânica a decompor.

O controlo das condições ambientais é também importante na actividade dos microrganismos responsáveis pelo processo bio-oxidativo. A temperatura, o oxigénio e a humidade, são factores físicos que influenciam a cinética de decomposição orgânica e produção de composto (Gonçalves, 2005).

O desenrolar do processo de compostagem procede a rápidas mudanças na composição dos substratos, dado que o teor de MO degradável é continuamente reduzido através de uma sequência variada de populações biológicas indispensáveis à compostagem e que predominam consoante o tipo de substâncias a decompor e a tolerância à temperatura (Insam e de Bertoldi, 2007).

### ***Matéria orgânica***

A quantidade e o tipo de MO dos substratos de compostagem, a par da temperatura do processo de compostagem, interferem na sequência e duração de decomposição das diferentes substâncias orgânicas, devido à actividade dos diversos microrganismos existentes na biomassa e/ou introduzidos por inoculação (Silveira, 1999).

Substâncias facilmente biodegradáveis, como hidratos de carbono simples e proteínas, são a primeira fonte de carbono a ser decompostas por microrganismos simples visto que têm vantagem competitiva face a microrganismos mais complexos, estes com um aparelho enzimático apropriado à degradação de substâncias mais resistentes à decomposição como a lenhina e celulose, tendo apenas maior actividade assim que há exaustão de substâncias facilmente biodegradáveis (Silveira, 1999).

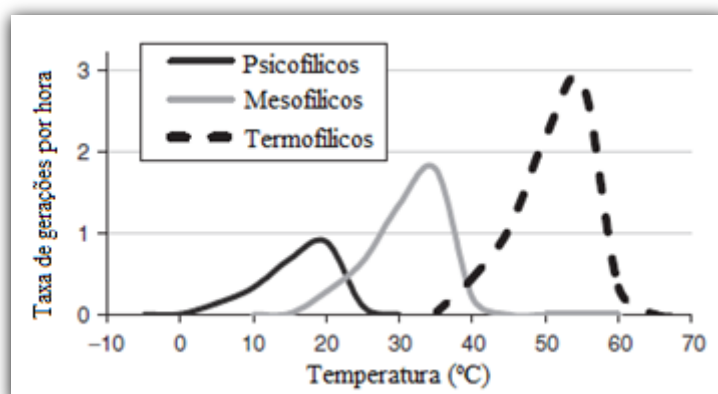
As substâncias lenho-celulósicas, em comparação com substâncias facilmente biodegradáveis, são decompostas a um ritmo lento e contribuem para a formação de húmus, um tipo de MO estabilizada, nutritiva e coloidal, caracterizada pela estrutura heterogénea de materiais amorfos, hidrofílicos, ácidos

e resistentes à decomposição, de cores amareladas a preto acastanhadas e de área superficial específica elevada que permite a absorção de água em quantidades muito superiores ao seu peso (d'Oliveira, 2010; Gonçalves, 2005).

O húmus é constituído por 70 a 80% de substâncias húmicas, e o restante por substâncias não húmicas como substâncias não biodegradadas ou resultantes da decomposição. As substâncias húmicas, de acordo com o seu peso molecular, dividem-se em três classes: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e húmina (Gonçalves, 2005).

### **Temperatura**

O factor temperatura é importante na predominância de populações microbianas responsáveis pela decomposição dos resíduos orgânicos, pois estas toleram diferentemente os gradientes de temperatura existentes na biomassa durante o processo de compostagem. A temperatura condiciona a taxa de actividade e geração populacional (Figura 2.2), e influencia a duração do processo de compostagem (Insam e de Bertoldi, 2007).



**Figura 2.2 – Influência da temperatura na taxa de geração populacional dos microrganismos psicofílicos, mesofílicos e termofílicos no composto.**

(Adaptado: Insam e de Bertoldi, 2007)

### **Razão C:N**

No início do processo de compostagem, a razão C:N deve ter um valor próximo de 30, pois por cada 30 de partes de carbono degradado os microrganismos utilizam 1 parte de azoto (Martinho *et al.*, 2011).

Uma razão C:N que evidencie excesso de carbono pode induzir a atrasos de decomposição orgânica, evitados através da cocompostagem com materiais correctivos com razão C:N baixa, enquanto um processo de compostagem com excesso em azoto em relação ao carbono, tende a formar poluentes azotados lixiviados ou volatilizados, sendo então recomendado introduzir uma fonte de carbono com razão C:N elevada.

No decorrer do processo de compostagem, é removido por volatilização *ca.* 50% do carbono orgânico contido inicialmente nos resíduos, o que induz ao decréscimo e estabilização da razão C:N a valores compreendidos entre 14 a 20. No entanto, nutrientes essenciais como o fósforo, potássio, ferro, zinco ou cobre são preservados e concentrados no composto final sob a fracção orgânica denominada por húmus (Brady e Weil, 2004).

A cocompostagem é a designação utilizada no processo de compostagem quando é incluído um ou mais substratos para equilíbrio da razão C:N e/ou de optimização das condições de arejamento e humidade, em função dos substratos iniciais a compostar. A Tabela 2.1 apresenta a razão C:N característica de alguns substratos utilizados em compostagem e considerados em cocompostagem.

**Tabela 2.1 – Razão C:N de diversos resíduos e materiais correctivos utilizados em compostagem.**

Substratos	Razão C:N	Fonte
Fracção orgânica de RSU	26	
Lamas de ETAR agro-industriais	14	Martinho <i>et al.</i> , 2011
Lamas de suinicultura	20 – 40	
Folhas frescas	35 – 85	
Aparas de relva	12-19	Haug, 1993
Casca de pinheiro	300	Krewer e Ruter, 2012
Caruma de pinheiro	60 – 110	Jacob, 2010
Resíduos do processamento da laranja	36	Gelsomino <i>et al.</i> , 2010
Resíduos da indústria madeireira	200 – 1313	
Papel	127 – 178	Brady e Weil, 2004
Cartão	563	

### ***Teor de humidade e taxa de arejamento***

A fracção aquosa do composto é indispensável à decomposição da MO pois as reacções químicas dependem de água. No entanto, um teor de humidade elevado reduz o teor de ar nos poros e assim interferir na decomposição da fracção orgânica que se pretende que aconteça em condições aeróbias, dado que a difusão de oxigénio no ar é 100 vezes superior que na água. Todavia, um teor de humidade reduzido não potencia a taxa de decomposição pois o processo é optimizado em valores entre os 45 e 70%, dependendo da estrutura e porosidade dos substratos em compostagem (Martinho *et al.*, 2011; Cordeiro, 2010).

Em exemplo do referido, substratos como as lamas de depuração e estrume animal, extremamente húmidos, limitam o processo de compostagem pela insuficiente porosidade livre, dado que os espaços entre partículas estão preenchidos com água dificultando assim a circulação de ar e a existência de condições aeróbias. Durante o processo de compostagem, uma porosidade e granulometria equilibrada permite um fluxo de ar adequado, essencial à renovação do teor de oxigénio, remoção de gases tóxicos e ao arrefecimento (Haug, 1993).

A desidratação de substratos muito húmidos poderá ser dispendiosa, no entanto é possível corrigir o excesso de humidade através do recurso à cocompostagem com materiais estruturantes, dado que aumentam a porosidade, arejamento e equilibram o teor de humidade (Brady e Weil, 2004). Aparas de madeira, palha, borracha triturada, casca de arroz e de amendoim, são alguns dos materiais estruturantes utilizados no equilíbrio das condições de compostagem (Haug, 1993).

### ***pH***

O pH é um parâmetro que normalmente não interfere no processo de compostagem, devido à vasta gama de microrganismos envolvidos e à capacidade tampão do processo, no entanto é preferencial que os substratos apresentem um pH entre 6,5 e 8 (Cordeiro, 2010).

A evolução típica do pH durante a compostagem apresenta um decréscimo de pH devido à solubilização de ácidos orgânicos presentes no substrato, porém a tendência de decréscimo inverte-se com a formação de azoto amoniacal, estabilizando após o término da fase activa de compostagem (Martinho *et al.*, 2011). Segundo Foth (1990), um pH entre 6 e 8 favorece a mineralização biológica do azoto contido na fracção orgânica.

## **2.2 USOS AGRÍCOLAS E REGULAMENTAÇÃO DO COMPOSTO**

Desde a revolução industrial, o uso de composto na agricultura com o intuito de restaurar ou aumentar a fertilidade, vem a ser preterido pela aplicação de outros correctivos e fertilizantes, que teoricamente potenciam o retorno financeiro da predominante produção agrícola intensiva, mas de facto condicionam negativamente a produtividade e sustentabilidade dos solos a médio/longo prazo.

Segundo a EPAGMA (2009) a utilização de turfa no sector agrícola, devido ao valor agrícola deste substrato orgânico, têm aumentado nos últimos anos, o que levou ao decréscimo da disponibilidade e à deterioração da qualidade e ao aumento de custo deste recurso, razões pelas quais outras fontes de MO, nas quais se inclui o composto, têm sido equacionadas como substitutos agrícolas da turfa.

A produtividade agrícola depende de atributos químicos, físicos e biológicos importantes na fertilidade, a componente da produtividade relativa à disponibilidade de nutrientes assimiláveis pelas plantas e da capacidade do solo em fornecer nutrientes das suas próprias reservas ou através de fontes externas. Outras das componentes importantes da produtividade são a porosidade do solo, disponibilidade de água, condições de temperatura e luminosidade (Roy *et al.*, 2006).

O uso de composto pode ter papel importante na restauração da fertilidade original de solos agrícolas explorados intensivamente, arditos ou erodidos, todavia é necessário proceder a aplicações sucessivas de composto e optar por uma adequada gestão do solo de modo a que encurte o tempo de reposição da fracção orgânica a toda a profundidade (Raviv, 2005).

A habilidade do composto em conceder energia, nutrientes aos microrganismos e de interagir sinergicamente com todas as componentes permite o desenvolvimento de um solo e plantações saudáveis, e resistentes a doenças e pestes (Shaffer, 2010).

Dado o reconhecimento dos benefícios de utilização do composto pelos agricultores e à necessidade de aumentar a procura e o escoamento pelas indústrias de compostagem, o seu uso na formulação de suportes de cultura é uma alternativa que tem ganho consistência e representatividade no mercado de compostos de qualidade (PERSU II, 2007; USCC, 2001; Hoitink *et al.*, 1996).

Segundo Avramidou *et al.* (2013), a aceitação da aplicação agrícola tem aumentado, após eventuais criticismos e incertezas por utilização em suportes de cultura de certos materiais compostados de qualidade inferior, devido à consolidação científica das mais-valias do uso de compostos de qualidade na produtividade e à consideração por políticas ambientais que promovem a sustentabilidade agrícola e ambiental.

Em estudo elaborado por Barth *et al.* (2008) sobre o fim do estatuto de resíduo para o composto, foi estimado o uso na agricultura de 48% do composto de um total de 10,5 milhões de toneladas produzidos com bio-resíduos e resíduos verdes na UE, durante o ano de 2005. No entanto o estudo aponta para a necessidade de aumento dos níveis de produção, pois considera que a produção potencial seria de 40 milhões de toneladas de composto se fossem compostados todos os resíduos orgânicos recolhidos, todavia é um valor que permitiria apenas fertilizar 3,2% das áreas agrícolas na UE, considerando a aplicação anual típica de 10 t/ha de composto.

Em Portugal, a produção de composto no ano de 2010 foi de 48,7 mil toneladas, tendo havido um aumento de produção em 65%, face às 29,5 mil toneladas produzidas em 2005 (APA, 2011; Barth *et al.*, 2008).

Porém, o processo de produção de um material compostado com benefícios agrícolas potenciados deve ser cuidado em relação aos substratos de compostagem incluídos e qualidade destes, pois podem influenciar negativamente propriedades qualitativas importantes à produtividade agrícola, por exemplo nos teores em nutrientes, pH, sais solúveis, MO ou teor de metais pesados (García de la Fuente *et al.*, 2007; Raviv, 2005).

O uso agrícola de composto é limitado pela presença de contaminantes que além de condicionarem a utilização do produto, podem introduzir riscos ambientais e prejudicar a qualidade dos produtos agrícolas. Uma regulamentação firme de mitigação destes efeitos, que incida na qualidade de composto pode assim contribuir para uma melhor aceitação do composto pelos agricultores (ECN, 2010).

Na indústria da compostagem, a recolha selectiva e a triagem mecânica de resíduos permite a selecção dos substratos de compostagem mais apropriados à qualidade do composto, porém é uma opção de gestão e tecnologia onerosa embora contribua acentuadamente para o aumento da qualidade do

material compostado, que em compensação acrescenta maior valor comercial e aceitação do seu uso agrícola.

Os dois principais usos agrícolas de composto de qualidade são de correctivo de solos e de substrato de mistura na produção de suportes de cultura.

### 2.2.1 Correctivo de solos

Os correctivos de solos são definidos por “materiais adicionados ao solo no local para, principalmente, manter ou melhorar as suas propriedades físicas e que são susceptíveis de melhorar a sua actividade química e/ou biológica” (C.E., 2006).

O uso de composto como correctivo de solos contribui essencialmente para o aumento da fertilidade dos campos agrícolas, devido ao alto teor em MO. A redução da fracção orgânica do solo é frequentemente associada à alteração negativa das propriedades físicas e a baixos níveis de actividade biológica, o que resulta na quebra de produtividade (Bauer e Black, 1994).

Em explorações agrícolas sustentáveis, a compostagem é a melhor opção para a reciclagem de resíduos orgânicos produzidos localmente, pois é um processo chave em práticas agrícolas holísticas, construindo um ecossistema saudável que desenvolve cultivos saudáveis (Shaffer, 2010). A reciclagem proporciona assim um correctivo de solo de elevada qualidade e reciclado, que de modo complementar previne que os resíduos orgânicos sejam depositados em aterros sanitários, onde estes são convertidos a metano e outros poluentes atmosféricos.

### 2.2.2 Suporte de cultura

Os suportes de cultura são definidos por “materiais, outros que não o solo no local, em que são cultivadas as plantas” (C.E., 2007a).

A inclusão de composto em suportes de cultura é uma aplicação que tem ganho consistência, pois alguns compostos de qualidade são considerados de bons substitutos de turfa como substrato de mistura. De facto, a turfa é o substrato mais utilizado em suportes de cultura e novas alternativas devem ser consideradas dado que as reservas desta matéria-prima estão globalmente reduzidas, porém é necessário que os agricultores tenham de alterar e adaptar-se à metodologia de irrigação e nutrição perante um suporte de cultura constituído por composto e com propriedades diferentes dos formulados com turfa (Avramidou *et al.*, 2013; EPAGMA, 2009).

Os suportes de cultura são formulados com uma mistura de substratos, e têm uso adequado em viveiros e estufas para o desenvolvimento de plantas envasadas. As plantas devido ao facto de estarem envasadas e confinadas em um meio com menor volume, são condicionadas de modo distinto que se plantadas em campos agrícolas, o que justifica a formulação de suportes de cultura de qualidade espe-



cífica, em função da optimização dos factores de crescimento e produtividade dos cultivos (Ingram *et al.*, 1993).

Uma utilização crescente de composto em suportes de cultura justifica-se pelas seguintes razões (Raviv, 2005): culturas não comestíveis, como plantas ornamentais, proporcionam um uso seguro de compostos com qualidade não desejada para a produção agrícola alimentar; alguns dos compostos beneficiam tão bem como a turfa nos suportes de cultura; tem um custo consideravelmente inferior; quando maturado contribui com MO e para o aumento da actividade microbológica, que previne e suprime certas doenças do solo e das plantas propagáveis por determinados substratos de mistura.

### 2.2.3 Técnicas agrícolas alternativas e outros usos

O composto tem grande potencialidade de utilização em outras técnicas agrícolas comuns como a hidroponia e fertirrega onde é aplicado como fertilizante líquido, isto porque disponibiliza os seus nutrientes através da aplicação de uma infusão de composto na solução de irrigação.

A hidroponia distingue-se da fertirrega por usar um suporte de cultura líquido que não suporta fisicamente as raízes dos cultivos, embora em ambas técnicas as plantas recebam os nutrientes essenciais ao desenvolvimento através de uma solução nutritiva fertilizante, como perceptível na Figura abaixo.



**Figura 2.3 – Conjunto de calhas e planta após colheita, associadas à técnica agrícola hidropónica (a); e adaptação do sistema de irrigação utilizado na fertirrega dos cultivos (b).**

(Fonte: <http://www.GettyImages.com>)

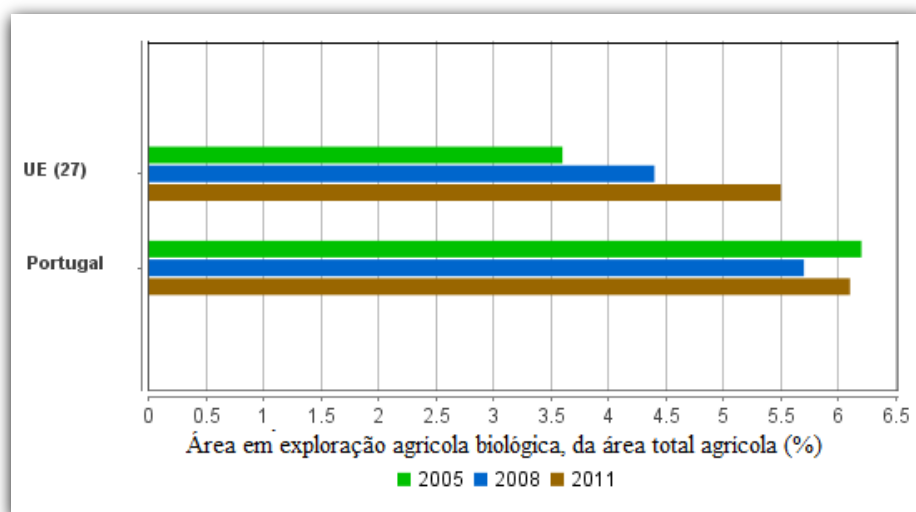
No caso da hidroponia (Figura 2.3a), as raízes da planta extraem os nutrientes através da recirculação da infusão com composto no interior das calhas, enquanto na fertirrega (Figura 2.3b) é distribuída pelo sistema de irrigação (Haug-Baltzell, 2011).

De igual modo, o uso de composto em explorações agrícolas biológicas pode ser economicamente vantajoso por reduzir, a médio/longo prazo, a aplicação de outros fertilizantes orgânicos dispendiosos

como farinha de sangue ou emulsão de peixe, ou mesmo ser a fonte única de nutrientes (Roy *et al.*, 2006). Na agricultura biológica o uso de fertilizantes minerais azotados e a maioria dos fertilizantes minerais comuns nas práticas agrícolas convencionais, não são permitidos (C.E., 2007b).

Na UE, a agricultura biológica ganha força com a reforma da Política Agrícola Comum de 2003, cujos objectivos incluíam a promoção da produção agrícola “amiga do ambiente” e de produtos agrícolas de qualidade. A 26 de Julho de 2013 foi aprovado nova reforma do referido instrumento, elaborado de encontro a uma política assente na melhoria da competitividade e sustentabilidade da agricultura (C.E., 2013b).

A agricultura biológica é um sistema de produção holístico, que promove a sustentabilidade e a salubridade do ecossistema agrícola, no qual a aplicação de compostos de qualidade contribui para um melhor desenvolvimento do mercado biológico. Segundo dados do Eurostat (2013) apresentados na Figura 2.4, entre 2005 e 2011 a agricultura biológica em Portugal foi de *ca.* 6%, sem evidenciar qualquer tendência, porém na UE aumentou de 3,6% para 5,5%. Portugal é um estado-membro que figura acima da média, devido à elevada área de pastagens permanentes e por ser um dos principais produtores europeus de hortaliças, em exploração agrícola biológica (C.E., 2010).



**Figura 2.4 – Evolução da área em exploração agrícola biológica na UE e em Portugal.**  
(Adaptado: Eurostat, 2013)

O uso de composto não se restringe apenas à utilização agrícola como correctivos de solos e à sua inclusão na formulação de suportes de cultura. Outros usos do composto corrente, que não para a produção de alimentos, são sugeridos pela EPA (1997) por reduzirem a erosão e aliviar a compactação do solo:

- Protecção de amontoados em torno de vias de transporte em construção, de modo a contrariar a erosão superficial do solo gerada pelo vento e precipitação intensa;
- Manutenção e recuperação paisagística que exige terras de cobertura de elevada qualidade, que particularmente em áreas urbanas têm elevado custo. Neste caso a alternativa é menos cara e normalmente produz uma cobertura vegetativa mais saudável;
- Recuperação de relvados recreacionais compactados pela utilização, no qual o arejamento mecânico e posterior aplicação de uma mistura de composto e borracha fragmentada, protege de nova compactação e diminui a incidência de doenças no coberto verde.

Quando o processo de compostagem produz material compostado classificado de resíduo orgânico estabilizado, a utilização convencional de precaução do resíduo é a de deposição em aterro, porém poderá ser extremamente útil na cobertura de resíduos eliminados em aterro, evitando assim custos excessivos pela utilização de terras de cobertura não contaminadas (Martinho *et al.*, 2011; Gonçalves, 2005).

#### **2.2.4 Regulamentação do composto**

Em resultado de uma avaliação global da qualidade dos compostos para uso agrícola, os critérios considerados na elaboração de normas de qualidade do composto são relacionados com o teor de MO, a influência na biodiversidade e fertilidade dos solos (ECN, 2010).

À excepção do sistema de atribuição do rótulo ecológico europeu (C.E., 2007a e 2006) e dos princípios da produção biológica de produtos agrícolas (C.E., 2008b), não existe uma norma específica para a qualidade de composto corrente no espaço europeu que reforce a protecção do ambiente e da saúde pública, que permita um aumento de confiança nas utilizações e facilite o seu comércio transfronteiriço. Em Portugal, o estabelecimento de critérios de qualidade do composto, é uma medida do PERSU II (2007) incluída no Eixo III – Qualificação e optimização da gestão de resíduos.

A Tabela 2.2 apresenta quatro classes de qualidade do composto, propostas no documento “Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto” (Anónimo, 2008).

**Tabela 2.2 – Metais pesados, materiais antropogénicos, pedras e microrganismos patogénicos – Valores máximos admissíveis dos contaminantes nas classes de composto.**

(Adaptado: Anónimo, 2008)

Parâmetro	Composto			
	Classe I	Classe II	Classe IIA*	Classe III
<b>Cádmio (mg/kg)</b>	0,7	1,5	3,0	5,0
<b>Chumbo (mg/kg)</b>	100	150	300	500
<b>Cobre (mg/kg)</b>	100	200	400	600
<b>Crómio (mg/kg)</b>	100	150	300	400
<b>Mercúrio (mg/kg)</b>	0,7	1,5	3,0	5,0
<b>Níquel (mg/kg)</b>	50	100	200	200
<b>Zinco (mg/kg)</b>	200	500	1000	1500
<b>Materiais inertes antropogénicos (%)**</b>	0,5	1,0	2,0	3,0
<b>Pedras &gt; 5 mm (%)</b>	5,0	5,0	5,0	-
<b>Salmonella spp.</b>	Ausente em 25 g			
<b>Escherichia coli (NMP***g)</b>	1000			

\* Classe validada até 2011

\*\* Inclui vidro, metais e plásticos, cujas partículas apresentem uma granulometria superior a 2 mm

\*\*\* Número Mais Provável

**Nota:** Os teores de metais pesados correspondem à fracção solúvel em água-régia.

Segundo as especificações técnicas apresentadas no referido documento, os compostos de Classe I e II podem ser utilizados na agricultura de modo amplo, enquanto os compostos de Classe IIA destinam-se apenas a culturas agrícolas arbóreas e arbustivas, e os compostos de Classe III a solos com cultivos não destinados à alimentação humana e animal. Para compostos de Classe I, II, IIA, as quantidades máximas anuais (em m.s.) aplicadas nos campos agrícolas não devem ultrapassar 50 t/ha, 25 t/ha e 10 t/ha, respectivamente, enquanto a de compostos de Classe III não devem ultrapassar 200 t/ha, num período de 10 anos.

O mesmo documento refere ainda que, os compostos para uso agrícola devem ter as seguintes características: um teor de humidade inferior a 40%; 99% do material deve passar por um crivo de malha quadrada de 25 mm; um teor em MO superior a 30%; e o pH deve estar compreendido entre 5,5 e 8,5.

A qualidade dos compostos produzidos com parte dos RSU é condicionada por ineficiências de remoção de contaminantes responsáveis pela deterioração da qualidade do material compostado final, dado que resíduos semí-líquidos contaminantes após contacto com a fracção orgânica são dificilmente removidos, e os resíduos sólidos de pequena dimensão facilmente se misturam com a fracção orgânica.

Tendo em consideração os contaminantes do composto referenciados na Tabela 2.2, os níveis elevados de metais pesados devem ser evitados por medidas a montante do processo de compostagem por triagem de substratos ou recolha selectiva dos resíduos, pois estes contaminantes tendem a concentrar-se na fracção orgânica do material compostado, o que torna inexequível uma remoção eficiente destes. Outros dos contaminantes com elevada representatividade nos RSU e que prejudicam a qualidade

agrícola do composto são materiais inertes (vidro, metais e plásticos) e pedras, passíveis de serem controlados no processo de afinação, a jusante.

Em termos qualitativos, a classe de estabilidade e grau de maturação do composto relaciona-se com a quantidade e tipo de MO do material compostado, contaminantes patogénicos e substâncias fitotóxicas, no qual a verificação de temperaturas elevadas durante o processo de compostagem é importante para a correcta decomposição de resíduos putrescíveis e esterilização de microrganismos patogénicos, que posteriormente nas fases de arrefecimento e maturação são eliminadas e o composto é humificado.

### **2.2.5 Considerações sobre a estabilidade e maturação do composto**

A definição de estabilidade e maturação gera alguma controvérsia na indústria da compostagem. Segundo Cunha-Queda (1999) a dificuldade em diferenciar composto estabilizado de composto maturado, encontra-se em conseguir determinar onde acaba a fase activa e o início da fase de maturação do processo de compostagem, dado que há uma sobreposição das mesmas.

Os dois termos são contextualmente diferentes, embora ambos sejam frequentemente utilizados para indicar o grau de decomposição da MO em compostagem (Paradelo *et al.*, 2010). O termo composto maturado é associado por vários autores à estabilidade da MO após o processo de compostagem (d'Oliveira, 2010). Porém, outros autores relacionam a maturação com a capacidade de promover efeitos benéficos à agricultura, uma definição mais lógica que diferencia e evita conflitos de interpretação com o conceito de estabilidade do composto.

A estabilidade é um termo relacionado com o grau de estabilização da fracção orgânica do composto, sendo inversamente relacionado com a actividade microbiana e a biodegradação da MO (Paradelo *et al.*, 2010). A estabilização dos substratos ocorre durante a fase activa do processo de compostagem, desencadeada por actividades biológicas decompositoras, indutoras de amplas variações nos parâmetros físico-químicos característicos nomeadamente MO, pH, temperatura e porosidade, que apenas abrandam no decorrer da fase de arrefecimento onde os referidos parâmetros tendem a estabilizar (Tiquia, 2010).

Porém, a falta de azoto ou de água durante o processo interrompe a decomposição de MO e induz a uma falsa estabilização, pois estes factores quando restaurados provocam o ressurgimento da actividade biológica (CCQC, 2001).

O termo maturação está relacionado com o grau de decomposição das substâncias fitotóxicas e da adequabilidade do composto no crescimento das plantas, onde outras substâncias tóxicas como concentrações elevadas de metais e de sais solúveis são residuais (Paradelo *et al.*, 2010). A inclusão de uma fase de maturação no processo de compostagem é assim importante para a eliminação ou redução da fitotoxicidade do material compostado e formação de agregados húmicos de elevada diversidade e

densidade microbiológica, que confere ao composto uma melhor adequabilidade agrícola (Haug, 1993).

Em termos biológicos, a fase de arrefecimento e maturação da compostagem restabelece microrganismos benéficos à agricultura com as suas actividades enzimáticas optimizadas à temperatura ambiente, condicionadas na anterior fase activa por eventuais limitações hídricas, mau arejamento e desenvolvimento de altas temperaturas (Shaffer, 2010).

Por isso, compostos estáveis podem ser não maturados para aplicação agrícola, uma problemática mitigada através do processo de maturação do composto com o intuito de neutralizar progressivamente substâncias fitotóxicas e produzir um composto de maior grau de maturação, porém este processo deve ser controlado pois um composto final excessivamente maturado pode perder o seu valor agrícola (CCQC, 2001).

De referir que, a fitotoxicidade diz respeito à acumulação nos tecidos das plantas, de substâncias nocivas que afectam o crescimento e desenvolvimento destas. Exemplos de substâncias com potencial efeito fitotóxico são: ácidos orgânicos de baixa massa molecular, fenóis, azoto amoniacal, aminas alifáticas e aromáticas, CE, e metais pesados (Silveira *et al.*, 2005).

Em Portugal, a gestão do uso agrícola do composto considera três graus de maturação (fresco, semi-maturado ou maturado) avaliados pelo teste de auto-aquecimento de Dewar (Anónimo, 2008). Contudo, a CCQC (2001) propõe uma avaliação integrada da estabilidade e maturação classificando o composto em três os graus de maturação distintos (Tabela 2.3).

**Tabela 2.3 – Graus de maturação do composto.**  
(Adaptado: CCQC, 2001)

Muito maturado	Maturado	Não maturado
<ul style="list-style-type: none"><li>• Composto bem maturado;</li><li>• Decomposição muito reduzida;</li><li>• Sem odores;</li><li>• Sem fitotoxicidade potencial.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Composto maturado;</li><li>• Produção insignificativa de odores;</li><li>• Limitada fitotoxicidade potencial;</li><li>• Impacto reduzido no azoto disponível para as plantas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Composto não maturado;</li><li>• Produção de odores;</li><li>• Elevada fitotoxicidade potencial;</li><li>• Impacto significativo no azoto disponível para as plantas.</li></ul>

A avaliação proposta pela CCQC (2001) supracitada, menciona que compostos com uma razão C:N inferior ou igual a 25 devem ser testados através de índices de estabilidade e maturação (Tabela 2.4), pelo menos um de cada tipo. No entanto, caso o composto tenha uma razão C:N superior a 25 é imediatamente classificado de não maturado.

**Tabela 2.4 – Parâmetros aplicados na avaliação integrada dos índices de estabilidade e maturação.**

(Adaptado: CCQC, 2001)

Parâmetros	
Estabilidade	• Taxa específica de consumo de oxigênio;
	• Taxa de emissão de dióxido de carbono;
	• Teste de auto-aquecimento de Dewar;
	• Determinação do dióxido de carbono pela técnica <i>headspace</i> ;
	• Teor de carbono disponibilizado biologicamente.
Maturação	• Teor em amônio;
	• Relação amônio:nitrato;
	• Teste de emergência e vigor de rebentos;
	• Teste de germinação <i>in-vitro</i> e crescimento de raízes;
	• Bioensaio com minhocas;
	• Teor de ácidos orgânicos voláteis.

Segundo a Tabela 2.4, o teste de auto-aquecimento de Dewar é exclusivamente aplicado para determinação da estabilidade dos compostos, o que contraria o método proposto nas “Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto” para determinação do grau de maturação (Anônimo, 2008).

A Tabela 2.5 apresenta a matriz de avaliação do grau de maturação do composto, após determinação da estabilidade.

**Tabela 2.5 – Matriz de avaliação do grau de maturação.**

(Adaptado: CCQC, 2001)

	Grau de maturação		
<b>Muito estável</b>	Muito maturado		
<b>Estável</b>		Maturado	
<b>Pouco estável</b>			Não maturado

Da interpretação da Tabela 2.5, é possível afirmar que um composto estável pode ser maturado ou não maturado porém, um composto maturado é necessariamente estável ou muito estável.

## 2.3 ACIDIFICAÇÃO DO COMPOSTO

Por vezes, o uso de compostos alcalinos é evitado por poder contribuir para o aumento da alcalinidade dos substratos de crescimento, em detrimento de outras fontes de MO como a turfa ou mesmo compostos neutros ou ácidos. Deste modo, a acidificação de compostos alcalinos potenciam a sua aplica-

ção, de modo a facultar um pH específico no qual plantas acidófilas possam desenvolver-se sob condições ideais de acidez.

Entende-se por substrato de crescimento, o suporte físico que fornece nutrientes aos cultivos agrícolas que desenvolvem-se em solos ou suportes de cultura, estes últimos normalmente envasados.

Segundo Foth (1990), o composto quando utilizado como correctivo de solos modifica o pH do meio com menor amplitude que em suportes de cultura, devido à maior capacidade tampão do solo em contrariar interferências na alcalinidade ou acidez.

A inclusão de composto em suportes de cultura tende a interferir com maior facilidade no pH, devido à menor diluição da alcalinidade ou acidez do composto, por estar restringido a um reduzido volume de envasamento, em comparação com os cultivos desenvolvidos no solo.

Foram estudados os efeitos da adição de substratos orgânicos ácidos, caruma e casca de pinheiro, em solo agrícolas (Krewer e Ruter, 2012; Jacob, 2010). No entanto, uma ampla acidificação do solo pode requerer elevadas quantidades destes substratos.

De modo a viabilizar a produção de um composto com maior acidez, não restrita a um número ínfimo de substratos e limitada à quantidade disponível destes, a utilização de produtos químicos é uma alternativa.

García de la Fuente *et al.* (2011 e 2007) estudaram a acidificação com S<sup>o</sup> de quatro compostos estabilizados produzidos com resíduos agrícolas, estrumes, casca de pinheiro e bagaço de azeitona. Estes autores reconhecem as dificuldades em encontrar trabalhos recentes sobre o tema, contudo devido ao efeito acidificante do S<sup>o</sup> ter sido amplamente estudado em solos agrícolas, é um processo bem conhecido pelos agricultores.

Existe em número reduzido estudos divulgados sobre a acidificação do composto com S<sup>o</sup>. Alguns autores verificaram o seu efeito acidificante, tendo como objectivo estudar a dissolução da fosforite no composto (Mahimairaja *et al.*, 1995) e a redução de perdas de azoto amoniacal durante o processo de compostagem (Gu *et al.*, 2011).

### 2.3.1 Substratos orgânicos ácidos

Resíduos verdes como folhas de pinheiro, vulgarmente conhecidas por caruma, e a casca de pinheiro, quando frescos são substratos orgânicos com uma constituição ácida, de pH variável de 3,4 a 4,3 e de 4,3 a 5,1, respectivamente (Melin, 2008; Brady e Weil, 2004).

Os referidos substratos têm elevada disponibilidade de utilização. Em Portugal continental, a área total de pinheiro-mansinho e pinheiro-bravo é de 28,2%, de uma área florestal de 3,15 milhões de hectares, segundo os dados de 2010 apresentados pelo ICNF (2013). No entanto, ano após ano há uma redução da área de pinhal devido a uma política de protecção e gestão florestal desadequada, que não mitiga a



ocorrência de eventuais focos de incêndio, por falta de acções de manutenção destas áreas (Pereira, 2009).

A casca e caruma de pinheiro têm um elevado teor de lenhina, substância orgânica de elevada resistência à decomposição (Krewer e Ruter, 2012), e no caso da caruma, uma substância cerosa envolvente que também diminui a taxa de biodegradação (Essington, 2003). Estes substratos têm utilidade em coberturas agrícolas, de melhoria do arejamento e infiltração de água, e de redução da evaporação e inibição do crescimento de ervas daninhas (Hunt *et al.*, 2010).

Muitas plantas acumulam nas folhas ácidos orgânicos sintetizados. Em contacto com o solo, as folhas solubilizam ácidos como o acético, húmico, oxálico ou tânico, que contribuem para a acidificação do solo. Este efeito verifica-se acentuadamente sob árvores coníferas, após soltarem as folhas de pinheiro (Jacob, 2010).

A casca de pinheiro é um substrato orgânico com um efeito acidificante distinto da caruma, pois solubiliza um teor menor de ácidos orgânicos e é um substrato que devido à CTC (capacidade de troca cationica) adsorve e neutraliza uma fracção dos iões em solução como o cálcio, magnésio e potássio responsáveis pela alcalinidade, podendo assim contribuir para o aumento da acidez (Tucker, 1995).

Substratos orgânicos ácidos quando misturados no composto, de início têm um efeito acidificante, porém não significa que produzam novos compostos acidificados e com pH estável. O pH do composto é influenciado pela eventual formação de azoto amoniacal, que reduz a concentração de  $H^+$  (ião elementar de hidrogénio), e pela transformação de ácidos orgânicos e outras substâncias responsáveis pela acidez, durante a degradação microbiológica (Gelsomino *et al.*, 2010; Haug, 1993).

Os substratos orgânicos quando adicionados a um composto maturado, dependendo da quantidade e qualidade da MO não estabilizada incorporada e de factores indutores do processo de compostagem, podem produzir um novo composto aparentemente maturado antes de atingir tal estado ou até não estabilizado (Raviv, 2005; Ingram *et al.*, 1993).

Dependendo do estado de decomposição da MO, esta pode restringir a germinação e/ou crescimento das plantas pelo facto de induzir à competição pelo azoto assimilável com os microorganismos, que imobilizam o nutriente anteriormente solúvel no meio (Insam e de Bertoldi, 2007). Durante a decomposição há a solubilização de novas substâncias fitotóxicas, como ácidos orgânicos e azoto amoniacal (Francou *et al.*, 2005).

Perante as condicionantes apresentadas, o consumidor pode decidir cultivar após a aplicação de composto não estabilizado tendo em consideração os eventuais efeitos fitotóxicos. Segundo Ravid (2005), a imobilização do azoto assimilável pelas plantas durante a decomposição pode ser contrariada através da monitorização dos nutrientes e continua fertilização do suporte de cultura, porém em contrapartida, o uso de fertilizantes tende a aumentar a concentração em sais solúveis, que em excesso são igualmente fitotóxicos (Raviv, 2005).

### 2.3.2 Produtos químicos

Martínez *et al.* (1988) desenvolveram um método de determinação da dose teórica de acidificação do composto baseado em curvas de titulação, e com recurso a produtos químicos com potencial acidificante, dos quais se destacam o  $S^0$ , sulfato de amónio e sulfato de ferro.

Os referidos produtos químicos acidificantes ao solubilizar iões  $H^+$ , reduzem a capacidade tampão do solo (Horneck *et al.*, 2007). A quantidade do produto aplicada determina a amplitude do consequente efeito acidificante.

No entanto, uma metodologia precisa de acidificação de compostos alcalinos, de modo a otimizar a sua adequabilidade para a formulação de suportes de cultura, não deve apenas basear-se na curva de titulação específica proposta por Martínez *et al.* (1988), mas também na eficiência de acidificação e em alterações de qualidade do composto, ambas verificadas por García de la Fuente *et al.* (2007) após aplicação de  $S^0$  no composto.

Em relação às substâncias constituintes dos principais produtos químicos acidificantes já referidos, há a considerar que:

- Não é recomendado proceder à acidificação do composto com recurso ao amónio, quando se pretende uma ampla redução de pH, pois o requisito de adição de grandes quantidades desta substância química limita a eficiência da nitrificação e consequente acidificação, dado que fracção do amónio converte-se em amoníaco, uma substância facilmente volatilizada (Mahimairaja *et al.*, 1995; Haug, 1993);
- No caso da acidificação com  $S^0$ , que como resultado da oxidação forma sulfato e  $H^+$ , a principal limitação é o tempo necessário ao desenrolar dos processos de oxidação biológica (Roig *et al.*, 2004);
- O sulfato de ferro é um químico que pode causar fitotoxicidade devido à solubilização de uma elevada quantidade de ferro, contudo tem rápida resposta de acidificação. Com este produto pode verificar-se a ocorrência de efeitos fitotóxicos às plantas, pois na presença de elevadas concentrações, além da adição directa de ferro, o aumento da acidez do composto tende a solubilizar ferro antes adsorvido em partículas minerais e húmicas (Brady e Weil, 2004).

Os aniões solubilizados através do uso destes produtos químicos, como  $SO_4^-$  ou  $NO_3^-$ , são responsáveis pelo aumento da salinidade em conjunto com catiões de base constituintes do composto, também solúveis e associados à CTC, como  $Na^+$  e  $Ca^+$ . Estes e outros iões com carga negativa ou positiva, que coexistem em solução, podem ser removidos por indução à formação de lixiviados, e consequente redução da salinidade, CTC e capacidade tampão do composto (Horneck *et al.*, 2007).

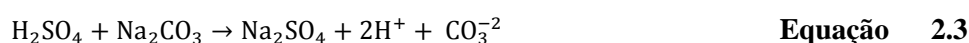
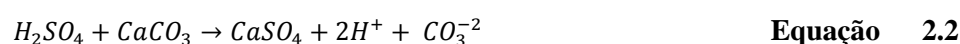
Todavia, as reacções proporcionadas pela aplicação de certos produtos químicos acidificantes, alcalinizantes e de fertilizantes, induzem a aumentos no teor de sais solúveis proporcionais às quantidades

adicionadas ao composto, formando assim um foco de fitotoxicidade conforme uma maior ou menor sensibilidade das plantas (Roig *et al.*, 2004; Foth, 1990).

A curva de titulação proposta por Martínez *et al.* (1988), tem a capacidade de estimar a dose correctiva a aplicar ao composto para acidificação a determinado pH, com o recurso a diferentes soluções em água preparadas com composto e sulfato de ferro. O sulfato de ferro é um sal que quando solúvel sintetiza por via química  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) e o ião de ferroso é adsorvido por partículas ou precipita sobre a forma de óxido ferroso (Freney, 1967).

No posterior ensaio de incubação, caso o produto químico seleccionado para a acidificação do composto seja o  $S^0$ , há um estímulo de reacções executadas pela biota presente na MO em estado activo ou anteriormente latente, com um efeito acidificante dependente da quantidade de produto aplicado. Sob condições aeróbias, os microrganismos com capacidade para realizar o processo de oxidação do  $S^0$  gradualmente a  $H_2SO_4$  (Equação 2.1) são essencialmente bactérias quimioautotróficas de diversos géneros, como *Achromatium*, *Beggiatoa*, *Thermothrix*, *Thiobacillus*, *Thiomicrospira*, *Thioploca*, *Thiosphaera*, *Thiothrix* e *Thiovulum*, no entanto uma variedade ampla de actinomicetas, fungos e bactérias heterotróficas contribuem positivamente no processo (Germida e Janzen, 1993).

O  $H_2SO_4$  é uma substância química altamente corrosiva que quando solubilizada no composto reage com a matéria carbonatada em solução (Equações 2.2 e 2.3) e liberta iões  $H^+$  responsáveis pela acidificação do composto. Na ausência de alcalinidade carbonatada, o ácido reage com os catiões adsorvidos em partículas coloidais constituintes da MO (García de la Fuente *et al.*, 2011 e 2007).



A eficiência de acidificação do composto com  $S^0$  depende da taxa de oxidação a  $H_2SO_4$ , na qual os factores físicos, como a temperatura e humidade, têm um papel importante no processo de bio-oxidação de  $S^0$ .

No entanto, há poucos estudos sobre a adição de produtos químicos, com o intuito de melhorar a qualidade do composto com a consequente redução de pH (Orman, 2012; García de la Fuente *et al.*, 2011 e 2007; Roig *et al.*, 2004).

## **2.4    PARAMÊTROS QUALITATIVOS DE SUPORTES DE CULTURA**

Os suportes de cultura devem ser produzidos tendo em conta a utilização específica e a qualidade dos substratos necessários à formulação da mistura. Segundo Raviv (2005), os vários substratos são misturados em proporções que otimizem as características do suporte de cultura e anule eventuais limitações concedidas pela inclusão de certos substratos, para que de modo global se favoreça o bom desempenho do produto na consequente produtividade agrícola.

No entanto, uma optimização da qualidade de suportes de cultura a determinados cultivos agrícolas não depende unicamente de requisitos qualitativos físico-químicos, é preciso considerar a susceptibilidade a fenómenos climáticos.

Em exemplo, um produto destinado à germinação em viveiros e posterior transplante das plantas deve ter uma porosidade adequada ao tamanho do recipiente, e garantir uma capacidade tampão que contrarie mudanças de pH na água de irrigação (Ingram *et al.*, 1993). Porém, segundo a USCC (2001), um suporte de cultura para utilização exterior deve ser formulado com substratos que possibilitem uma rápida drenagem e minimize assim eventuais situações de precipitação intensa, no qual a aplicação de compostos densos pode requerer a inclusão de substratos com maior porosidade.

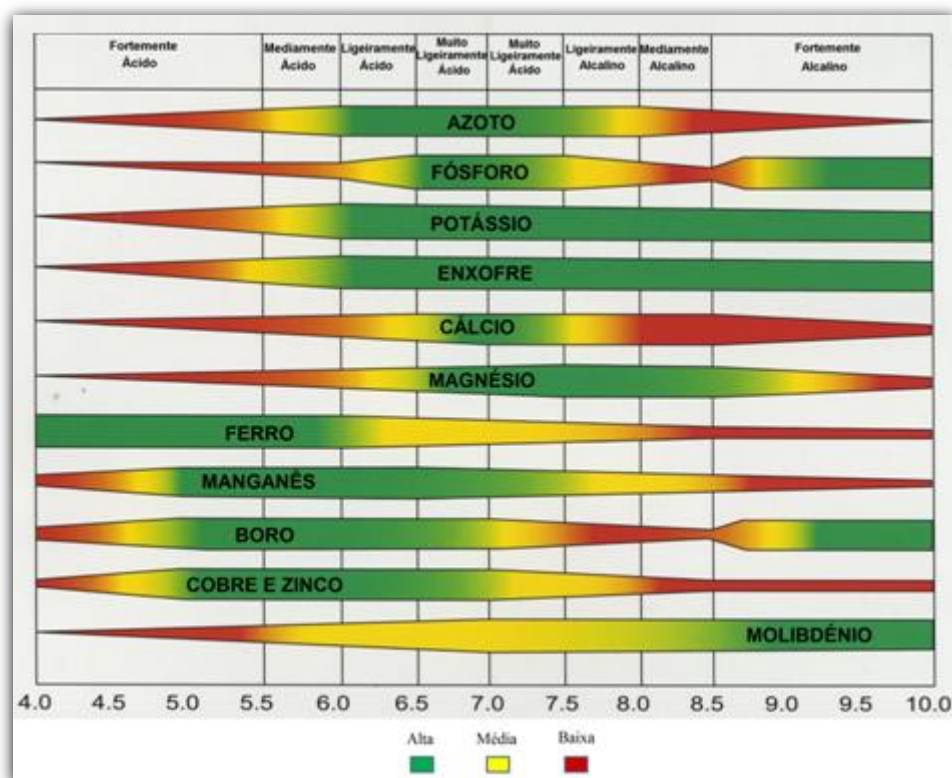
Os factores essenciais à formulação de suportes de cultura são: o pH, os sais solúveis, a MO, a granulometria, a porosidade, a capacidade de retenção de água e a CTC.

### **2.4.1    pH**

O pH é a medida de acidez ou alcalinidade do meio, determinada pelo valor simétrico do logaritmo de base 10 da concentração de  $H^+$  em solução.

As plantas têm diferentes preferências de pH. Segundo Foth (1990), solos de pH ligeiramente ácido, ou próximos do neutro, fornecem à maioria das plantas boas condições de disponibilidade de nutrientes. Plantas como azáleas, rododendros ou mirtilos preferem pH ácidos compreendidos no intervalo de 5,0 a 5,5, enquanto plantas como o tremoço, lírios ou cravos preferem um pH de 6,5 a 7,0 (Brady e Weil, 2004).

A Figura 2.5 apresenta a influência do pH na disponibilidade de nutrientes em solução, facilmente assimiláveis pelas plantas, em solos ligeiramente a moderadamente erodidos e adaptado a suportes de cultura .



**Figura 2.5 – Influência do pH na disponibilidade dos nutrientes assimiláveis pelas plantas, em solos ligeiramente a moderadamente erodidos.**

(Adaptado: Foth, 1990)

Da interpretação da Figura 2.5, verifica-se que certas plantas desenvolvem-se melhor em solos mediamente ácidos devido à maior solubilização de micronutrientes, como ferro e manganês, contudo esta acidez pode limitar o desenvolvimento óptimo de outras espécies vegetais por a concentração destes nutrientes ser excessiva, ou haver menor concentração de macronutrientes como o potássio, azoto ou fósforo disponível para assimilação na solução (Foth, 1990).

Em qualquer técnica agrícola, o pH dos substratos de crescimento deve ser monitorizado regularmente para permitir ajustes, dado que é um parâmetro sensível a alterações e crítico por condicionar a tolerância das plantas face à maior ou menor disponibilidade de nutrientes essenciais ou minerais tóxicos (Brady e Weil, 2004).

Eventuais patologias foliares podem surgir quando as plantas desenvolvem-se em um solo com pH fora dos intervalos ideais, pois estas não toleraram certas concentrações excessivas de acidez ou alcalinidade (Ingram *et al.*, 1993).

## 2.4.2 Sais solúveis

A CE é um parâmetro de simples determinação e bom estimador dos sais solúveis pois quanto maior a presença de sais, maior a capacidade da água em conduzir corrente eléctrica, no entanto não permite determinar o tipo e concentração dos sais e dos nutrientes em solução (Brady e Weil, 2004). Os

principais sais solúveis são os cátions de base  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  e os aniões  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$  (Essington, 2003).

De modo similar ao pH, o teor de sais solúveis tolerável é específico para cada espécie de plantas. A ocorrência de patologias foliares depende do tipo de planta, estado de desenvolvimento, tempo de exposição e da concentração de sais, no entanto é um parâmetro agrícola que estima a quantidade de nutrientes disponíveis para assimilação pelas plantas (Ingram *et al.*, 1993).

Um teor elevado em sais solúveis, pode condicionar o desenvolvimento das raízes ao expor estas a uma maior pressão osmótica na interação entre o substrato de crescimento e a planta, não assimilando de modo eficiente água e nutrientes. No entanto, é possível por lixiviação reduzir-se a CE desde que a água de irrigação tenha uma menor concentração em sais solúveis que o meio saturado, dado que ao irrigar em excesso, o equilíbrio osmótico garante a diminuição gradual do teor em sais solubilizados (Brady e Weil, 2004).

De uma forma geral, as principais fontes de contaminação dos solos resultam da intrusão salina, meteorização de minerais, água de irrigação ou do uso de certos fertilizantes (Essington, 2003).

### 2.4.3 Matéria orgânica

A MO estável, essencialmente constituída por húmus (conceito desenvolvido no subcapítulo 2.1.3), confere os seguintes efeitos importantes no desenvolvimento das plantas (Foth, 1990):

- Melhora a estrutura do substrato de crescimento das plantas na capacidade de fornecer oxigénio e reter água, ao adsorver partículas minerais solúveis em agregados organo-minerais;
- É uma fonte de nutrientes para as plantas, disponíveis com a decomposição gradual da fracção orgânica;
- Regula o fornecimento de nutrientes devido à elevada CTC ao adsorver substâncias mineralizadas prontas a serem assimiladas pelas plantas, e reduzir perdas por lixiviação;
- Contribui para a capacidade tampão contrariando mudanças rápidas no pH dos substratos de crescimento;
- Aumenta a resistência das plantas a microrganismos e tóxicos causadores de doenças;
- Estimula a germinação e desenvolvimento dos cultivos agrícolas.

A utilização de um suporte de cultura com MO insuficientemente estabilizada origina graves prejuízos nos cultivos, devido à presença de substâncias com características fitotóxicas e à competição das plantas por minerais necessários para à degradação. A aplicação agrícola de fracção orgânica não estável é continuamente susceptível ao processo de degradação e formação de húmus, enquanto a fracção estabilizada tende a decompor-se de forma lenta (d'Oliveira, 2010).

#### **2.4.4 Granulometria, porosidade e capacidade de retenção de água**

A distribuição da granulometria do conjunto de partículas incluídas no suporte de cultura determina o volume de água passível de ser retido no suporte de cultura. Partículas de maior e de menor dimensão contribuem para a formação de macroporos ( $\geq 0,1$  mm) e microporos ( $< 0,1$  mm), respectivamente (Foth, 1990).

Os macroporos têm dificuldade em reter água, e normalmente são preenchidos por um volume de ar, essencial ao arejamento do meio e ao desenvolvimento em profundidade das raízes, enquanto os microporos estão associados com a porosidade interna dos agregados e com a sua capacidade em reter água (Brady e Weil, 2004).

A capacidade de retenção de água é um parâmetro que mede a quantidade de água retida nos poros após um regadio até o nível de saturação, no qual apenas o excesso drena através dos macroporos e a água sobrança fica retida nos microporos. De realçar que, as raízes das plantas apenas conseguem assimilar parte da água, pois há uma fracção que não está disponível devido ao equilíbrio higroscópico (Ingram *et al.*, 1993).

#### **2.4.5 Capacidade de troca catiónica**

A CTC é um parâmetro que refere-se à capacidade que o suporte de cultura tem em adsorver e consequentemente, contrariar a tendência da lixiviação de nutrientes essenciais com cargas positivas, como catiões amónio, cálcio, magnésio ou potássio (Ingram *et al.*, 1993).

Os resultados da CTC são expressos através do número de moles de catiões adsorvidos por unidade de massa. Na actualidade os resultados são apresentados em  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , porém alguns autores continuam a publicá-los na unidade antiga de  $\text{meq}/100\text{g}$ , que em termos numéricos é o mesmo valor (Brady e Weil, 2004).

A CTC está relacionada com a capacidade tampão, e ambas condicionam o efeito de substâncias com propriedades acidificantes ou alcalinizantes. Como exemplo do referido, partículas coloidais presentes nos suportes de cultura como o húmus e partículas argilosas e siltosas, perante a interferência das substâncias alcalinizantes nas suas estruturas químicas, solubilizam iões  $\text{H}^+$  para equilíbrio de pH e aumentam a receptitividade a cargas positivas que contribuem favoravelmente para a CTC, e o contrário aplica-se a substâncias acidificantes (Brady e Weil, 2004).

Em suportes de cultura, a CTC é estimada pela soma ponderada da CTC característica das fracções minerais e orgânicas constituintes. Por exemplo, a CTC na MO pode variar de 100 até 400  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  com a quantidade de MO decomposta ou humificada, enquanto a matéria mineral pode no máximo atingir 50  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  em minerais argilosos, ou um valor residual na fracção siltosa e de areia (Foth, 1990).

## **2.5 PRODUÇÃO DE SUPORTES DE CULTURA**

### **2.5.1 Considerações de produção**

O documento publicado por Ingram *et al.* (1993), sobre a formulação de suportes de cultura para plantas ornamentais envasadas, refere que o ponto de partida para a sua produção consiste na mistura de substratos disponíveis que melhor se adequem à produtividade agrícola dos cultivos, através de um método de tentativa e erro. Na sua formulação é necessário manter um equilíbrio entre a capacidade de retenção de água e porosidade, bem como considerar outros critérios baseados na qualidade dos substratos de mistura e fertilizantes adicionados, intensidade de produção agrícola, índices pluviométricos, e requisitos nutricionais das culturas agrícolas (Raviv, 2005).

Importa salientar que a produção de suportes de cultura em épocas sazonais distintas e com matérias-primas com eventuais diferenças qualitativas, causam problemas de reprodutibilidade da qualidade, pelo que recomenda-se aos agricultores e produtores a proceder a pequenas correcções de formulação aquando da produção de lotes diferentes (Roig *et al.*, 2004; Ingram *et al.*, 1993).

A grande variedade de substratos de mistura confere flexibilidade na produção de suportes de cultura de qualidade, pois apresentam um conjunto diversificado de características físicas, químicas e biológicas.

Os substratos de mistura utilizados na formulação dos mais variados suportes de cultura, são diferenciados em orgânicos e inorgânicos. O composto, a turfa, alguns resíduos florestais e o solo, são alguns dos substratos de mistura orgânicos com maior aplicação nos suportes de cultura da UE (EPAGMA, 2009), porém outros substratos como areia, argila expandida, perlite, vermiculita, fibra de coco e musgo de esfagno são utilizados em menores quantidades.

Nos suportes de cultura, os substratos inorgânicos geralmente não interferem nas propriedades químicas, no entanto têm um contributo positivo ao melhorar aspectos de produtividade agrícola relacionados com o arejamento e drenagem.

### **2.5.2 Substratos de mistura orgânicos**

Os substratos de mistura orgânicos por norma condicionam as propriedades químicas e físicas do solo, sendo utilizados preferencialmente para aumentar a fracção orgânica, influenciar a acidez e melhorar a porosidade do suporte de cultura.

#### ***Composto***

O composto aplicado deve ser estável, com um teor em sais solúveis relativamente reduzido, presença residual de outros fitotóxicos e livre de fitopatogénicos. A Tabela 2.6 apresenta as características preferências para o uso de composto em suporte de culturas desde que o composto seja estável e matura-



do, não evidencie efeitos negativos significativos na germinação e crescimento das plantas, e cumpra os teores limite regulamentados de metais pesados (USCC, 2001).

**Tabela 2.6 – Características físico-químicas preferenciais do composto para mistura em suportes de cultura.**

(Adaptado: USCC, 2001)

Parâmetro	Valores preferenciais
pH	5,5 – 8,0
Humidade (%)	35 – 55
CE (dS/m)	< 3
MO (% m.s.)	40 – 60
N (% m.s.)	> 1,8
P (% m.s.)	> 1,0
K (% m.s.)	0,9
Granulometria (mm)	< 25
Densidade (g/l)	400 – 600

O composto é naturalmente uma fonte concentrada de nutrientes, geralmente denso, e com elevada CTC e capacidade tampão, no entanto quando alcalino poderá contribuir para um aumento excessivo do pH dos suportes de cultura. Por estes motivos a formulação de suportes de cultura baseados na fracção orgânica do composto, normalmente incluem-no num valor máximo de 40 – 50% do volume, de modo a garantir os critérios de qualidade e preferenciais para os suportes de cultura (WRAP, 2011).

Os substratos usados no processo de compostagem são importantes para a qualidade do composto, por exemplo, estrumes e lamas de depuração contribuem com sais solúveis e metais pesados, respectivamente (Robbins e Evans, 2005).

Pelo facto de o composto maturado ter a capacidade de suprimir doenças relacionadas com o solo, encoraja os agricultores a incluírem este substrato na formulação de suportes de cultura com maior frequência, em detrimento de outros substratos orgânicos (Raviv, 2005). Outros dos benefícios geralmente observados com o uso de composto são a redução do uso de fertilizantes, fungicidas e pesticidas, o aumento da produção agrícola, um maior número de folhas por planta, a melhoria do desenvolvimento de raízes e o aumento da CTC (USCC, 2001).

### ***Turfa***

A turfa é um recurso caro, de formação lenta, com a extracção e uso restringido em consequência da problemática de cariz ambiental à escala mundial, o que enfatiza o interesse em incentivar o uso agrícola do composto (C.E., 2013a; Cunha-Queda *et al.*, 2007; Raviv, 2005).

Segundo a EPAGMA (2009), as turfeiras (Figura 2.6) são locais de acumulação de musgo de esfagno e de outros resíduos vegetais, contendo turfa em um conjunto de várias camadas que cresce a uma taxa estimada em 5 centímetros a cada 100 anos. A diferente coloração da turfa associa-se ao diferente teor

em carbono do material, devido à ligeira decomposição da biomassa vegetal depositada e concentrada em profundidade, em áreas húmidas, ácidas e sob condições anaeróbias.



**Figura 2.6 – Local de extracção e secagem de turfa, na Irlanda.**  
(Fonte: <http://www.GettyImages.com>)

A turfa no seu estado natural é constituída por substâncias esponjosas e fibrosas com uma coloração que varia de castanho pálido a escuro e até mesmo a preto, sendo normalmente designada por turfa loira, castanha ou escura. Em termos agrícolas, tem excelentes propriedades físicas, é um substrato leve, estável e muito ácido, porém a elevada capacidade de retenção de água pode condicionar as condições de drenagem e arejamento (Robbins e Evans, 2005).

A elevada procura deste recurso natural, igualmente importante na produção de energia devido às propriedades combustíveis, é acompanhada por uma deterioração da qualidade agrícola e do aumento de preço de comercialização. No entanto, é o substrato mais utilizado na formulação de suportes de cultura por produtores agrícolas profissionais. Na Europa durante o ano de 2007, em termos volumétricos, a fracção de turfa incluída na formulação de suportes de cultura foi de 86%, que corresponde *ca.* a 19 milhões de m<sup>3</sup> (EPAGMA, 2009).

### ***Resíduos florestais***

Os resíduos florestais têm a vantagem de serem substratos de mistura com produção e reutilização local. Cascas de árvore e aparas de madeira são substratos, inclusive não compostados, aplicados em coberturas de jardins e canteiros para melhorar factores de produtividade, e também por conceder a espaços de lazer uma aparência limpa e atractiva.



**Figura 2.7 – Resíduos florestais: (a) aparas de madeira; (b) casca de pinheiro; e (c) caruma de pinheiro.**

(Fonte: <http://www.GettyImages.com>)

O uso de aparas de madeira (Figura 2.7a) é menos desejável devido à MO constituinte ser facilmente biodegradável, o que acelera o processo de decomposição e liberta maior quantidade de substâncias fitotóxicas em curto espaço de tempo, comparativamente a outros substratos menos susceptíveis à decomposição (Ingram et al., 1993).

Porém, as cascas de madeiras são utilizadas extensivamente em suportes de cultura, pois actuam como um substrato de mistura que promove o arejamento. Segundo Krewer e Ruter (2012), é recomendado que suportes de cultura formulados com casca de pinheiro (Figura 2.7b) não degradada tenham um suplemento de azoto para que, o natural surgimento de microrganismos decompositores da MO fresca não imobilize o nutriente e condicione os requisitos nutritivos ao desenvolvimento das plantas consequentemente. A casca de pinheiro é um substrato de pH ácido, e com uma porosidade interna interessante por melhorar a CTC e a capacidade de retenção de água dos substratos de crescimento.

A caruma de pinheiro (Figura 2.7c) é um usualmente incorporada nos solos, ou apenas em coberturas superficiais, por aumentar respectivamente a acidificação e melhorar o arejamento ou minimizar a evaporação nos solos (Jacob, 2010).

Habitualmente, a casca de pinheiro é um dos substratos preferidos em suportes de cultura, sendo a sua utilização beneficiada pela maior resistência à decomposição devido ao elevado teor em lenhina (Krewer e Ruter, 2012).

### ***Solo***

O solo tem um teor residual de MO, motivo pelo qual não é aplicado para aumentar a fracção orgânica de suportes de cultura, todavia é incluído com o objectivo de aumentar o seu peso volúmico, pois caso

a mistura não seja suficientemente densa pode condicionar a fixação das raízes das plantas ao suporte físico (Robbins e Evans, 2005).

A percentagem de solo deverá ser inferior a 10%, e na generalidade dos suportes de culturas modernos não é utilizado, pois pode o contaminar com doenças do solo propagáveis ou sementes infestantes (Raviv, 2005).

### 2.5.3 Fertilizantes agrícolas

Um fertilizante pode ser um material orgânico ou mineral, de origem natural ou sintético, ou um material biológico aplicado nos substratos de crescimento com o objectivo de disponibilizar uma maior concentração de um ou mais nutrientes. Em suma, os fertilizantes podem alterar amplamente parâmetros químicos, como o pH e MO, e interferir em parâmetros biológicos (Foth, 1990).

Dado que a definição de fertilizante não inclui o uso de materiais com o intuito de corrigir o pH, alguns dos fertilizantes mencionados na Tabela 2.7 têm um efeito acidificante quando aplicados.

**Tabela 2.7 – Tipos e nome dos fertilizantes agrícolas comuns.**

(Fonte: Roy *et al.*, 2006)

Tipos de fertilizante		
Orgânicos	Minerais	Biológicos
<ul style="list-style-type: none"><li>• Composto</li><li>• Estrume</li><li>• Lamas de depuração</li><li>• Farinha de sangue</li><li>• Emulsão de peixe</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Azotados<ul style="list-style-type: none"><li>- Amoníaco, Nitrato de Amónio e Ureia</li></ul></li><li>• Fosfatados<ul style="list-style-type: none"><li>- Superfosfato e Fosfato mineral</li></ul></li><li>• Potássicos<ul style="list-style-type: none"><li>- Cloreto de Potássio</li></ul></li><li>• Mistura NP ou NPK</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Biofertilizante fixador de azoto atmosférico</li><li>• Biofertilizante solubilizador de nutrientes específicos</li></ul>

Segundo Foth (1990), os fertilizantes orgânicos aumentam a concentração de vários nutrientes a médio/longo prazo, tendo a desvantagem de em certos nutrientes a sua contribuição ser residual, sendo necessário o complemento, geralmente com fertilizantes minerais, de modo a suprimir o desequilíbrio em um ou mais nutrientes. Fertilizantes minerais actuam a curto/médio prazo, e a maioria destes são produzidos por extracção de recursos naturais e posterior transformação pela indústria química.

Os fertilizantes biológicos, apesar de constituídos por nutrientes imobilizados nos microrganismos, são aplicados de modo a aumentar a fixação de azoto atmosférico ou contribuir para uma maior solubilização de nutrientes disponíveis para assimilação pelos cultivos, após adição de microrganismos que interferem positivamente no ciclo dos nutrientes (Roy *et al.*, 2006).

### 3. PLANO EXPERIMENTAL

Os objectivos da presente dissertação foram delineados com o seguinte plano experimental:

Etapa 1 – Caracterização físico-química de CRV;

Etapa 2 – Ensaio de acidificação de CRV, com os substratos:

- Caruma de pinheiro;
- Casca de pinheiro;
- Enxofre elementar.

Etapa 3 – Caracterização físico-química dos compostos obtidos no ensaio de acidificação;

Etapa 4 – Análise da estabilidade/maturação dos compostos:

- a. Teste de auto-aquecimento de Dewar;
- b. Ensaio de determinação da resposta das plantas com couve chinesa.

Etapa 5 – Estabilização da fracção orgânica de compostos obtidos não estáveis.

A Etapa 1 realizou-se assim que foi recebido cada lote de CRV utilizado nos diferentes ensaios e testes experimentais, tendo-se realizado as Etapas 3 e 4a assim que se obteve os compostos acidificados na Etapa 2.

Caso os compostos durante a Etapa 4a evidenciem resultados de compostos não estáveis, procede-se à estabilização da fracção orgânica fresca (Etapa 5), e consequente produção de novo composto, sendo posteriormente necessário realizar as Etapas 3 e 4.

#### *Observações*

Na Etapa 2, de modo complementar ao objectivo de acidificação do CRV a pH 6, pretende-se avaliar:

- A influência da granulometria dos substratos orgânicos na acidificação, quando triturados a 1 e 10 mm;
- No decorrer de um ensaio de incubação com S<sup>o</sup>, a eficiência de acidificação do composto com a aplicação de diferentes doses testadas e a influência da granulometria no processo, através do uso de composto não crivado e da fracção inferior a 2 mm.

Não se procedeu ao teste de auto-aquecimento em compostos obtidos por acidificação com S<sup>o</sup>, dado que por questões laboratoriais não foi exequível a produção de uma quantidade suficiente à sua execução. Porém, considera-se que pertencem a uma classe de estabilidade não inferior à obtida por CRV, pois o S<sup>o</sup> é um produto inorgânico.

O ensaio de determinação da resposta das plantas permite verificar os efeitos significativos no desenvolvimento das plantas, dos compostos testados. Este ensaio foi dividido em três fases devido a limitações laboratoriais e operacionais, condicionadas pela duração dos ensaios das Etapas 2 e 5.



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 COMPOSTO DE RESÍDUOS VERDES (CRV)

O CRV é um composto orgânico produzido por compostagem de resíduos verdes, originados na manutenção de jardins e de espaços verdes, essencialmente utilizado como correctivo de solos.

No decorrer dos ensaios laboratoriais foram utilizados três lotes de CRV obtidos a 7 de Fevereiro, 23 de Abril, e a 17 de Maio de 2013.

### 4.2 SUBSTRATOS ACIDIFICANTES

#### *Folhas de pinheiro*

As folhas de pinheiro (ou caruma) utilizadas no ensaio de acidificação são da espécie *Pinus pinea*, obtidas no Campus da Caparica da Universidade Nova de Lisboa, entre os Edifícios VIII e IX. As folhas parcialmente decompostas foram recolhidas à superfície do solo da área arborizada com pinheiros, enquanto as folhas verdes foram retiradas, de modo aleatório, directamente do pinheiro.

#### *Casca de pinheiro*

A casca de pinheiro utilizada no ensaio de acidificação é comercializada com a designação *Decor* 8-15 mm, da *Siro*®. Os produtos da gama *Decor* são correctivos orgânicos constituídos por 100% casca de pinheiro da espécie *Pinus pinaster* que, após um tratamento térmico natural, é seleccionada, crivada e calibrada de acordo com a granulometria e parâmetros de qualidade.

#### *Enxofre elementar (S°)*

O S° utilizado no ensaio de acidificação é comercializado com a designação *Stulln*® *WG Advance*, da *Sapex Agro*. Os produtos da gama *Stulln*® são constituídos por grânulos dispersáveis com uma pureza de enxofre de 80%.

Este produto, especialmente projectado para a utilização agrícola como fungicida, tem acção preventiva e curativa sobre determinados fungos unicelulares, causadores da doença agrícola do oídio em diversas culturas. Contudo, foi utilizado na acidificação do CRV devido a ser um concentrado de enxofre.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Para a avaliação da qualidade e adequação do uso agrícola dos compostos e substratos em estudo foram determinados os parâmetros físico-químicos que são especificados a seguir.

#### *Teor de Humidade*

O teor de Humidade é determinado pela norma EN 12880:2000 por gravimetria. A amostra é seca em estufa a 105 °C até atingir um peso constante, sendo os resultados apresentados em percentagem da matéria fresca inicial.

#### *Matéria orgânica (MO)*

A MO é determinada pela norma EN 12879:2000 por gravimetria. A amostra é incinerada em mufla a 550 °C durante 2 horas, sendo os resultados apresentados em percentagem de matéria seca.

#### *Densidade*

A densidade é determinada por gravimetria tendo-se seguido o documento de trabalho preparado pelo *CEN/BT/Task Force 151* nominado de *Solid materials – Determination of bulk density* (2005). Resumidamente, em um recipiente cilíndrico previamente tarado procede-se ao seu enchimento e, de modo a haver compactação do material, deixa-se cair o copo três vezes de uma altura de 5 cm, enchendo novamente o copo até à marca de 1 litro. Os resultados são apresentados em g/l de matéria seca.

#### *Granulometria*

A granulometria é determinada pela norma UNE 77314:2001. Resumidamente, passa-se a amostra sucessivamente por crivos de malha decrescente e é pesada a fracção separada em cada crivo. Os crivos usados, da marca *Retsch® Test Sieves*, têm uma malha quadrada com os seguintes espaçamentos: 25 mm; 12,5 mm; 6,3 mm; e 2 mm. Os resultados são apresentados em percentagem de matéria fresca inicial.

#### *pH*

O pH é determinado por potenciometria através do documento de trabalho preparado pelo *CEN/BT/Task Force 151* nominado de *Determination of pH in soil, sewage sludge and biowaste* (2005). As leituras realizaram-se com o eléctrodo de pH modelo *Sentix® 41* da *WTW*, ligado ao potenciómetro *Inolab® pH 720* da *Thermo Scientific*. Resumidamente, num copo de 100 ml, dilui-se 5 g do peso fresco da amostra com 50 ml de água destilada tipo II e agita-se magneticamente durante 2 horas. Após este período é feita a leitura de pH em unidades de pH (H<sub>2</sub>O).



### **Condutividade eléctrica (CE)**

A CE é determinada por potenciometria através do documento de trabalho preparado pelo *CEN/BT/Task Force 151* nominado de *Determination of electrical conductivity in soil, sewage sludge and biowaste* (2005). As leituras realizaram-se com o eléctrodo de condutividade modelo *Orion DuraProbe™ 013005MD* da *Thermo Electron Corporation*, ligado ao potenciómetro *Orion Star Plus™* da *Thermo Scientific*. Resumidamente, num copo de 100 ml, dilui-se 5 g do peso fresco da amostra com 50 ml de água destilada tipo II e agita-se magneticamente durante 2 horas. Após este período é feita a leitura da CE em dS/m, normalizados a 25 °C.

### **Carbono, azoto e enxofre elementar, e razão C:N**

As quantidades de carbono, azoto e S° são determinadas através do analisador elementar modelo *EA-1108 CHNS-O*, da *Carlo Erba Instruments*. Resumidamente, a amostra é incinerada a 1000 °C, o gás libertado passa por uma coluna cromatográfica onde os elementos químicos são separados e quantificados pelo detector de condutividade térmica, que envia um sinal proporcional à concentração dos elementos analisados. Os resultados são processados em computador e apresentados em percentagem do elemento químico na matéria seca.

Calculou-se a razão C:N através da seguinte equação:

$$\text{Razão C: N} = \frac{\text{Carbono elementar \%}}{\text{Azoto elementar \%}} \quad \text{Equação 4.1}$$

## **4.4 ENSAIO DE ACIDIFICAÇÃO**

### **4.4.1 Caruma e casca de pinheiro**

Coloca-se em caixas de alumínio de 1 litro (20 x 10 x 5 cm), diferentes proporções destes substratos orgânicos com efeito acidificante em 50 g de composto. Depois de bem misturado, retira-se uma amostra para medição do pH obtendo-se os dados analíticos para acidificar CRV, por cálculo da linha de tendência do pH em função da proporção de mistura.

Dado que a caruma fresca ser um substrato sujeito à sazonalidade das podas ou abate de pinheiros equacionou-se a utilização da caruma do chão no ensaio de acidificação.

### **4.4.2 Enxofre elementar**

A dose de referência correctiva de S° a aplicar no CRV de modo a acidificar ao valor de pH pretendido, depende do volume de titulação do Ferro (II) em solução e do valor de pH da suspensão preparada. A determinação da quantidade de S° baseia-se no método indicado por Martinez *et al.* (1988).

O resultado da titulação é expresso em meq de  $H^+$  pois é uma unidade robusta, dado que há outros produtos químicos alternativos a  $S^o$  vocacionados para a acidificação do solo, e neste caso do composto.

##### ***Determinação da dose correctiva***

Resumidamente, a seis soluções de 100 ml de sulfato com ferro heptahidratado (2% m/v) e água destilada do tipo II, em proporções que variaram dos 0:100 a 100:0, respectivamente, adiciona-se 10 g de composto e quatro gotas de clorofórmio para inibir a actividade microbiológica. As suspensões preparadas são mantidas à temperatura ambiente e diariamente agitadas durante 45 minutos. Com frequência diária ao 4º dia de incubação, após o período de agitação mede-se e regista-se o pH até todos os valores serem estáveis, o que determina o fim do ensaio experimental. Após a estabilização do pH, as suspensões são centrifugadas e titula-se 50 ml de cada fracção líquida resultante com permanganato de potássio 0,1N. Anotar o volume de titulação ( $V_{tit}$ ).

O pH final de cada suspensão é graficado em função dos meq de  $H^+$  por quilograma de composto, calculados através da Equação 4.2.

$$\text{Quantidade de } \frac{\text{meq de } H^+}{\text{kg}} = V_{tit}(\text{ml}) * 40 \quad \text{Equação 4.2}$$

Após a análise da linha de tendência do gráfico, determina-se D (dose correctiva de  $S^o$ ) através dos meq de  $H^+$  correspondentes à acidificação do composto a pH 6, tendo em consideração que 1 mole de enxofre corresponde a 2 eq  $H^+$  (Equação 4.3).

$$\frac{\text{g } S^o}{\text{kg de composto}} = 0,016 * \left[ \text{Quantidade de } \frac{\text{meq de } H^+}{\text{kg}} \right] \quad \text{Equação 4.3}$$

##### ***Ensaio de incubação***

O ensaio de incubação torna possível que microrganismos existentes na biomassa de composto, responsáveis pela bio-oxidação do  $S^o$  a  $H_2SO_4$ , desenvolvam as suas actividades enzimáticas em condições experimentais controladas e optimizadas. Este ensaio decorreu a 25 °C, e com uma periodicidade de 1-2 vezes por semana realizou-se correcção da humidade e recolha de uma amostra para medição do pH e CE.

Foram preparadas seis amostras testadas de CRV com diferentes quantidades de  $S^o$  adicionada e/ou granulometria do composto, e duas amostras de controlo sem adição de  $S^o$ . Estas oito amostras foram colocadas em recipientes plásticos de 2 litros (25 x 20 x 4 cm), cada com uma quantidade de CRV superior a 1,2 kg, humidificado a 40%. O material utilizado para adição de  $S^o$  na preparação das amostras testadas é comercializado com a designação *Stulln® WG Advance*.

Este ensaio laboratorial foi projectado, para produzir compostos organo-minerais, de modo a:

- Acidificar o composto com a dose correctiva determinada através da amostra testada 1D;
- Avaliar a eficiência de acidificação através das amostras testadas 0.5D, 0.75D, 1D, 1.25D e 1.5D;
- Avaliar a importância da granulometria na acidificação do composto, com as amostras testadas \*0D e \*1D, em comparação com os resultados obtidos pela amostra testada 1D.

**Nota:** O símbolo “\*” identifica as amostras que contêm CRV com granulometria inferior a 2 mm.

Após o ensaio, quando os parâmetros de pH e CE estabilizaram avalia-se a eficiência de acidificação (ea) em cada amostra testada através da Equação 4.4, sugerida por García de la Fuente *et al.* (2007).

$$ea, \% = \frac{pH_i - (pH_f - \Delta pH_c)}{\Delta pH_e} \times 100 \quad \text{Equação 4.4}$$

Onde,

$pH_i$  – pH inicial do composto;

$pH_f$  – pH final da amostra testada;

$\Delta pH_c$  – variação no pH na amostra de controlo no final do ensaio de incubação;

$\Delta pH_e$  – variação de pH esperado na amostra testada.

**Nota:** A  $\Delta pH_e$ , indica a redução de pH esperado no composto de acordo com a curva de titulação, considerando o pH inicial do composto e o pH teórico ( $pH_t$ ), este último corresponde aos meq de  $H^+$ .kg<sup>-1</sup> aplicados sob a forma de S<sup>o</sup> em cada amostra testada ( $\Delta pH_e = pH_i - pH_t$ ).

#### 4.5 ENSAIO DE ESTABILIZAÇÃO

O ensaio de estabilização de compostos obtidos pela mistura do CRV com substratos orgânicos foi feito em bidão de 25 l mantido em banho de água a  $58 \pm 2$  °C, com arejamento forçado (Figura 4.1). Periodicamente o composto era revolvido, humedecido a 50% e retirada uma amostra de 5 g para medição do pH e CE.



**Figura 4.1 – Ilustração dos equipamentos utilizados no ensaio estabilização.**

As condições experimentais, adaptadas de condições otimizadas de compostagem segundo os fundamentos citados por Martinho *et al.* (2011), são determinantes na aceleração do processo de decomposição de fracção orgânica fresca.

### 4.6 ANÁLISE DA ESTABILIDADE/MATURAÇÃO

#### 4.6.1 Teste de auto-aquecimento em vasos de Dewar

Os procedimentos do teste de auto-aquecimento em vasos de Dewar baseiam-se no documento preparado pelo CEN/TC 223 nominado de *Determination of Aerobic biological activity – part 2: self heating test for compost* (2008).

Após humedecer a 35% o composto crivado com uma granulometria inferior a 12,5 mm, o teste é iniciado com o enchimento do vaso Dewar com a amostra preparada (Figura 4.2) até distar 5 cm do topo do vaso e coloca-se uma sonda de temperatura a 3 cm do fundo. A temperatura atingida pelo composto e a temperatura ambiente são registadas de modo contínuo por sondas de temperatura.



**Figura 4.2 – Ilustração de dois vasos de Dewar utilizados no teste de auto-aquecimento.**

O teste termina assim que o composto evidencie um pico máximo de temperatura, ou no máximo após 10 dias. A interpretação da Tabela 4.1 permite avaliar a capacidade de auto-aquecimento do composto com a indicação da correspondente classe de estabilidade, descrição e designação.

**Tabela 4.1 – Classes de estabilidade do composto.**  
(Fonte: Brinton *et al.*, 1995)

$\Delta T_{\max}^1$ (°C)	Classe de estabilidade	Descritores	Designação
0 – 10	V	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muito estável</li> <li>Composto bem maturado</li> </ul>	Composto maturado
10 – 20	IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>Moderadamente estável</li> <li>Composto a maturar</li> </ul>	
20 – 30	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substratos em compostagem</li> <li>Composto activo</li> </ul>	Composto activo
30 – 40	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Composto não maturado, novo ou muito activo</li> </ul>	
> 40	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Composto fresco, com mistura de substratos de compostagem</li> </ul>	Composto fresco

<sup>1</sup> $\Delta T_{\max}$ , diferença da temperatura de auto-aquecimento máxima entre o composto e a temperatura ambiente

#### 4.6.2 Ensaio de determinação da resposta das plantas

Os ensaios de determinação da resposta das plantas com couve chinesa (*Brassica napa*, spp. *pekinensis*) foram realizados com base na norma EN 16086-1:2011. Este procedimento permite determinar os efeitos de correctivos orgânicos, e de suportes de cultura ou constituintes no desenvolvimento das plantas por variações na germinação e/ou crescimento.

Foi optado o método experimental envasado com o uso directo dos substratos preparados, um método que utiliza a turfa de esfagno como substrato de controlo e na preparação das misturas com composto na proporção 50:50 em peso volúmico, obtendo-se assim os substratos em teste com o posterior enchimento dos vasos testados.

O ensaio é mantido em ambiente controlado (Figura 4.3) a uma intensidade de luz superior a 5000 lux e com ciclos diários de iluminação artificial de 12 a 16 horas, à temperatura ambiente de  $25 \pm 2$  °C. Os substratos preparados foram fertilizados a  $225 \pm 25$  mg de azoto por litro, com o produto *Adubo Mineral Horta NPK 12-8-19* da Siro®.



**Figura 4.3 – Ensaio de determinação da resposta das plantas.**

#### 4. Materiais e métodos

A Figura 4.4a ilustra uma fase inicial de crescimento da planta, no qual é visível o desenvolvimento da primeira folha verdadeira, entre o par de cotilédones. O fim do ensaio é determinado assim que 50% das plantas de controlo desenvolvem a quinta folha verdadeira. A Figura 4.4b apresenta uma planta de couve chinesa com cinco folhas verdadeiras, que diferem estruturalmente dos dois cotilédones que surgem inicialmente com a germinação.



**Figura 4.4 – Ensaio de determinação da resposta das plantas: (a) planta uma folha verdadeira a meio e (b) planta com cinco folhas verdadeiras, com os dois cotilédones não numerados.**

No final do ensaio, determina-se para cada vaso preparado a taxa de germinação após 5 dias (Equações 4.5) e quantifica-se o peso fresco das plantas (Equações 4.6), de modo a se calcular os valores médios para cada composto em teste, consoante os resultados obtidos nos vasos replicados.

$$TGi(\%) = \frac{\text{n.º de sementes de germinadas no vaso } i}{20} \times 100$$

$$TGm(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n TGi}{n}$$

$$CVG(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TGi - TGm)^2}{n-1}} \times 100$$

$$PFi(g) = \frac{\text{peso das plantas germinadas no vaso } i}{\text{n.º de sementes de germinadas no vaso } i} \times 100$$

$$PFm(g) = \frac{\sum_{i=1}^n PFi}{n}$$

$$CVPF(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PFi - PFm)^2}{n-1}} \times 100$$

Onde,

*TGi*, taxa de germinação do vaso *i*, no dia 5;

*TGm*, taxa de germinação média por substrato;

*n*, n.º de vasos replicados;

*CVG*, coeficiente de variância da taxa de germinação.

**Equações 4.5**

Onde,

*PFi*, peso fresco médio das plantas no vaso *i*, no final do ensaio;

*PFm*, peso fresco médio das plantas por substrato;

*n*, n.º de vasos replicados;

*CVPF*, coeficiente de variância do peso fresco das plantas.

**Equações 4.6**

Posteriormente calcula-se os índices de inibição de germinação e de crescimento para os compostos em teste (Equações 4.7), em relação aos resultados obtidos pelos substratos de controlo.

$$\blacksquare \text{ InG}(\%) = \frac{\text{TGm}_{\text{controlo}} - \text{TGm}_{\text{composto}}}{\text{TGm}_{\text{controlo}}} \times 100$$

$$\blacksquare \text{ InC}(\%) = \frac{\text{PFm}_{\text{controlo}} - \text{PFm}_{\text{composto}}}{\text{PFm}_{\text{controlo}}} \times 100$$

Onde,

*InG*, inibição de germinação do composto;

*InC*, inibição de crescimento do composto;

*n*, n.º de vasos replicados;

**Equações 4.7**

#### ***Determinação de efeitos negativos significativos dos compostos testados***

A norma EN 16086-1:2011 não apresenta valores de referência para a interpretação de resultados nem define critérios de classificação dos compostos de acordo com os efeitos no crescimento das plantas.

Foram adaptados de critérios de avaliação usados para os testes de germinação e crescimento com sementes de agrião (*Lepidium sativum*) e de rabanete (*Raphanus sativus*) do método proposto por CCME (1996), considerando que os resultados dos compostos testados que excedam os valores de 10% e 50% para os índices de InG e InC, respectivamente, traduzem efeitos negativos significativos no crescimento das plantas.

Caso as plantas desenvolvidas apresentem patologias foliares, são também reconhecidos efeitos negativos significativos.

### **4.7 TRATAMENTO DOS RESULTADOS**

A análise de resultados foi realizada, sempre que possível, com o cálculo do valor médio aritmético ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $s$ ) de cada parâmetro obtido por determinação laboratorial, através das seguintes equações:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Equação 4.8}$$

$$s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n} \quad \text{Equação 4.9}$$

Onde,

$x_i$ , valores experimentais obtidos na medição  $i$ ;

$n$ , número de medidas efectuadas.





## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CRV

Em Portugal, até à data não há uma regulamentação sobre a qualidade mínima obrigatória para as diversas utilizações de composto corrente, apenas uma regulamentação de âmbito europeu de compostos de qualidade excepcional passíveis de atribuição de rótulo ecológico comunitário (C.E., 2007a e 2006) e de utilização agrícola no modo de produção biológica (C.E., 2008b).

O documento de referência, nominado de “Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto”, surge de uma proposta de norma que não entrou em vigor no entanto, que neste contexto de análise apresenta os valores recomendados para os parâmetros pH, humidade, MO, granulometria (Anónimo, 2008).

Em complemento do enquadramento qualitativo do CRV para uso agrícola, com outros parâmetros não incluídos nas especificações técnicas, as características do composto são comparadas com os valores preferenciais para utilização agrícola, de acordo com o USCC (2001). A Tabela 5.1 resume a caracterização físico-química do CRV utilizado nos ensaios experimentais.

**Tabela 5.1 – Caracterização do CRV: parâmetros físico-químicos.**

Parâmetro	Unidades	Valor	VR*/VP**
<b>pH</b>	Unidades de pH	$9,1 \pm 0,2$	5,5 – 8,5 *
<b>CE</b>	dS/m	$1,2 \pm 0,1$	< 5 **
<b>Humidade</b>	%	$39,7 \pm 1,2$	< 40 *
<b>MO</b>	% m.s.	$37,5 \pm 2,4$	> 30 *
<b>Densidade</b>	g.l <sup>-1</sup>	$479,5 \pm 5,4$	475 – 590 **
<b>Razão C:N</b>	gC.gN <sup>-1</sup>	$16,2 \pm 1,6$	< 20 **
<b>Azoto elementar</b>	% m.s.	$1,2 \pm 0,2$	> 1 **
<b>Estabilidade</b>	Classe	V	–

\* VR, Valor Recomendado (Anónimo, 2008);

\*\* VP, Valor Preferencial (USCC, 2001).

A adequabilidade para utilização agrícola de CRV, segundo os valores preferencias e recomendados na Tabela 5.1, é limitada pelo pH de 9,1 do composto, um valor fortemente alcalino que excede o intervalo recomendado compreendido entre 5,5 e 8,5.

O CRV pertence à classe V de estabilidade descrito por Brinton *et al.* (1995), próprio de um composto bem maturado e muito estável que, segundo Gonçalves (2005), pode ser utilizado na agricultura desde que o espalhamento e incorporação no solo sejam efectuados num periodo inferior a 3 semanas.

A Tabela 5.2 resume a granulometria do CRV utilizado nos ensaios experimentais.

**Tabela 5.2 – Caracterização do CRV: granulometria.**

<b>Dimensão das partículas</b>	<b>Percentagem de matéria fresca</b>
> 25 mm	0,0 ± 0,0%
12,5 – 25	0,8 ± 0,3%
6,3 – 12,5	11,8 ± 0,4%
2 – 6,3	32,7 ± 3,1%
< 2 mm	54,7 ± 3,8%

Segundo a Tabela 5.2, em termos físicos CRV é um composto constituído em média por 54,7% de partículas muito finas (< 2 mm), com 44,5% de partículas finas/médias (2 a 12,5 mm) e elementos médios/grosseiros (> 12,5 mm) residuais. Um valor superior a 99% do material do CRV passa por um crivo de 25 mm, um requisito recomendado por Gonçalves (2005).

Por observação sensorial constata-se que CRV é um composto escuro e odor agradável, que quando humedecido a 50-55% é um pouco plástico.

Os valores apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2 são valores médios, à excepção do parâmetro estabilidade cujo resultado se refere apenas ao 2º lote de CRV. Os resultados parciais estão incluídos nas Tabelas I.1, I.4 e II.4, em anexo.

## 5.2 ACIDIFICAÇÃO DO CRV COM SUBSTRATOS ORGÂNICOS ÁCIDOS

### 5.2.1 Caracterização dos resíduos

A Tabela 5.3 apresenta a caracterização físico-química dos substratos orgânicos acidificantes, caruma e casca de pinheiro.

**Tabela 5.3 – Caracterização dos resíduos verdes de pinheiro: parâmetros físico-químicos.**

<b>Substratos orgânicos</b>	<b>Humidade, %</b>	<b>pH</b>	<b>CE, dS/m</b>	<b>MO, % m.s.</b>
<b>Caruma fresca verde</b>	58,6 ± 0,3	3,7 ± 0,2	0,6 ± 0,2	96,4 ± 0,1
<b>Caruma fresca seca</b>	-	3,9 ± 0,2	2,5 ± 0,1	
<b>Caruma do chão</b>	33,3 ± 0,1	6,1 ± 0,3	0,4 ± 0,0	93,1 ± 0,4
<b>Casca</b>	27,4 ± 0,4	4,5 ± 0,1	0,2 ± 0,0	97,3 ± 0,2

Segundo a Tabela 5.3, os pHs da caruma fresca verde, fresca seca e do chão e o da casca de pinheiro são, respectivamente de 3,7, 3,9, 6,1 e 4,5. De notar que a caruma fresca verde tem uma humidade de 58,6% e a caruma fresca seca uma CE de 2,5 dS/m, que em comparação com outros substratos são valores muito superiores.

A caruma após quebra da ligação com o pinheiro entra em decomposição orgânica e perde parte da acidez, MO e da cor esverdeada. Este comportamento foi observado por Jacob (2012), tendo afirmado que a caruma no chão quando exposta a factores climáticos é decomposta em curto espaço de tempo, concedendo ao substrato um potencial de acidificação inferior ao da caruma fresca, isto por a decomposição proporcionar a lixiviação e volatilização de substâncias acidificantes solubilizadas.

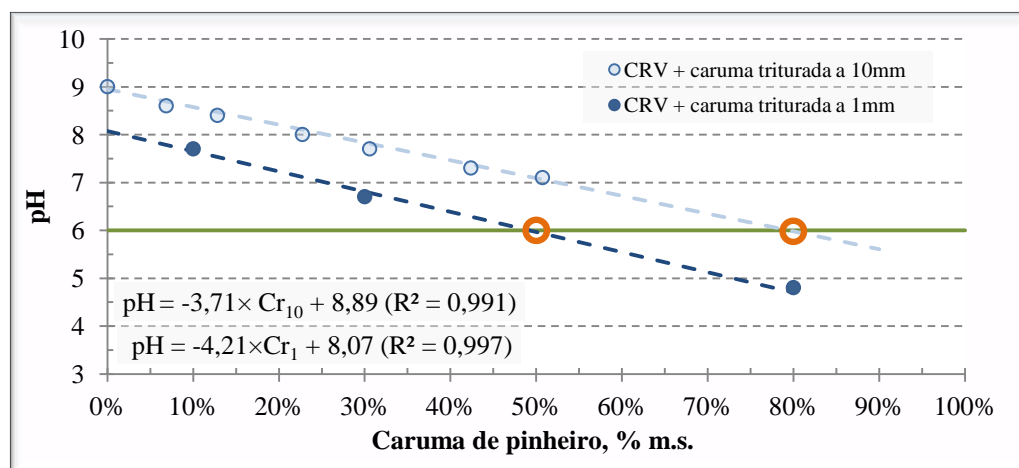
Dado que a caruma fresca é um substrato sujeito à sazonalidade das podas ou abate de pinheiros foi equacionado a utilização da caruma do chão no ensaio de acidificação, um resíduo florestal comercializado e disponível durante todo o ano, porém apresenta um efeito acidificante inferior (Tabela 5.3).

Os valores apresentados na Tabela 5.3 são valores médios cujos resultados parciais estão incluídos na Tabela I.2, em anexo.

### 5.2.2 Análise do efeito acidificante

A análise do efeito acidificante dos substratos orgânicos foi verificada por mistura de diferentes proporções dos resíduos, triturados a 1 e 10 mm, com o CRV com o intuito de encontrar a proporção correspondente à acidez de pH 6 e determinar a importância da dimensão das partículas no efeito acidificante.

No ensaio de acidificação do CRV com caruma, apresentado na Figura 5.1, optou-se pela mistura de caruma fresca no estado seco, devido à dificuldade de trituração do substrato quando húmido e verde, embora o pH seja apenas superior em 0,2 unidades (Tabela 5.3).



**Figura 5.1 – Análise do efeito acidificante: Caruma de pinheiro triturada a 1 e 10 mm.**

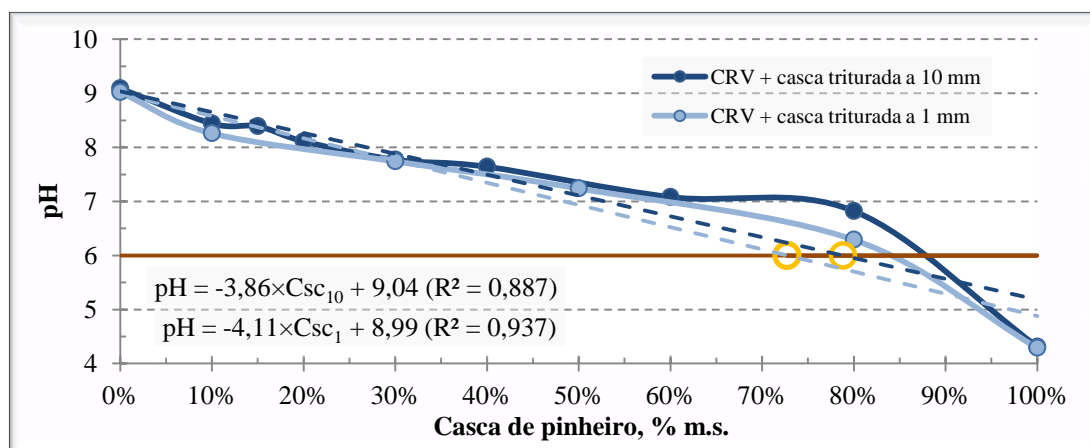
Segundo os resultados apresentados na Figura 5.1, a proporção de mistura para acidificação do CRV a pH 6 é de *ca.* 50% e 81% em m.s. de caruma se triturada a 1 mm ou 10 mm, respectivamente, valores determinados pela análise da linha de tendência de ambas as séries de dados.

## 5. Resultados e discussão

A interferência da granulometria no efeito acidificante da caruma pode estar relacionada com a influência da superfície específica deste substrato na facilidade de solubilização das substâncias acidificantes.

Na produção do novo composto Cr1 optou-se pela mistura de CRV com 50% m.s. de caruma triturada a 1 mm dado que, o potencial de acidificação inicial da caruma triturada a 10 mm é inferior.

A Figura 5.2 apresenta os resultados de ensaio de acidificação do CRV a pH 6 com casca de pinheiro.



**Figura 5.2 – Análise do efeito acidificante: Casca de pinheiro triturada a 1 e 10 mm e respectivas linhas de tendência a tracejado.**

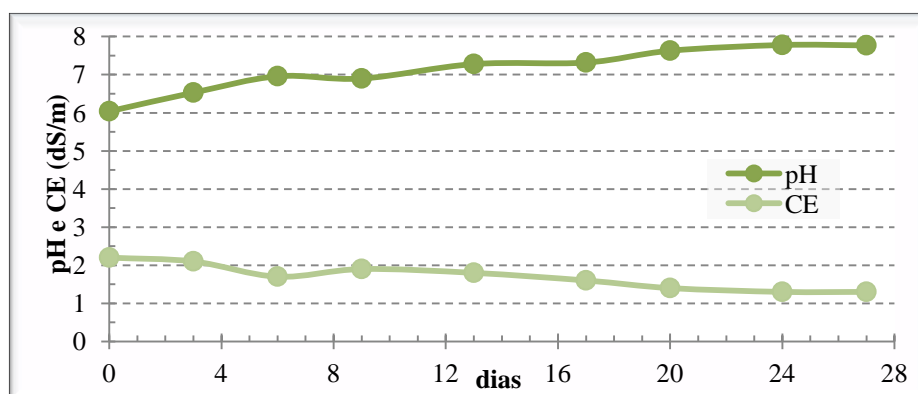
Para acidificar CRV a pH 6 com casca de pinheiro, de acordo com a linha de tendência linear das séries de dados, é necessário a mistura de uma proporção de *ca.* 73% ou 79% m.s. de casca de pinheiro se triturada a 1 ou 10 mm, respectivamente (Figura 5.2).

Na obtenção do novo composto Csc, optou-se pela mistura de CRV com 79% m.s. de casca de pinheiro triturada a 10 mm, tendo-se verificado que as granulometrias ensaiadas do substrato acidificante não influenciam a acidificação obtida.

Os valores obtidos na análise do efeito acidificante da caruma e casca de pinheiro são apresentados em anexo na Tabelas II.1 e II.2, respectivamente.

### 5.2.3 Ensaio de estabilização da caruma de pinheiro

A Figura 5.3 apresenta a evolução do pH e CE durante o ensaio de estabilização da fracção orgânica fresca incluída em Cr1, procedido de modo a potenciar a aplicação agrícola do composto, dado que um composto activo, de acordo com a interpretação do teste de auto-aquecimento de Cr1 no subcapítulo seguinte (5.2.4), tem a capacidade de desenvolver patologias nas plantas (Brady e Weil, 2004).



**Figura 5.3 – Ensaio de estabilização: Evolução do pH e CE no composto Cr1.**

Como apresentado na Figura 5.3, durante o ensaio de estabilização é verificada a atenuação do efeito acidificante inicial da caruma em Cr1, tendo o pH aumentado gradualmente de 6,0 para 7,8. Este ensaio foi realizado com 3,6 kg m.s. de composto Cr1, e após 24 dias de ensaio houve uma redução de 31,1% m.s. da inicial de composto, devido à decomposição da MO degradada.

O produto final deste ensaio é o composto Cr2, que apresenta os parâmetros de pH e CE estáveis porém, a formação e decomposição de algumas formas de azoto e de certos ácidos orgânicos contribuem para a verificada redução de acidez e de CE do composto (Gelsomino *et al*, 2010; Jacob, 2010), induzindo a um pH inferior em 1,3 unidades e a um valor de CE ligeiramente superior, quando comparado com os valores do CRV apresentados na Tabela 5.1.

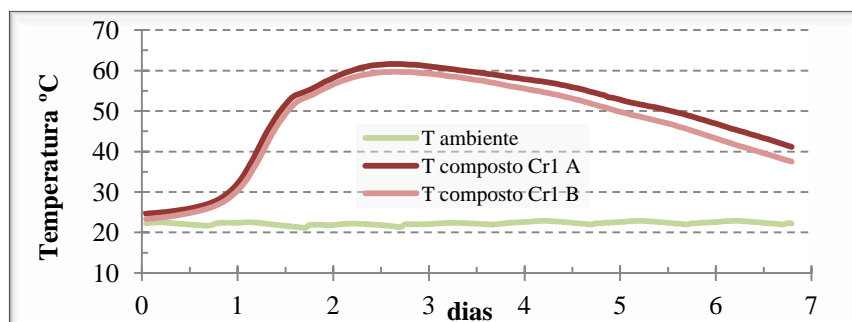
De acordo com Amlinger *et al.* (2009), não é recomendado a mistura de substratos orgânicos de rápida decomposição nos compostos maturados, de modo a salvaguardar a sua qualidade de comercialização e utilização agrícola, pois poderá contribuir para a solubilização de novas substância fitotóxicas e para o desenvolvimento de uma segunda fase de compostagem termofílica. A mistura pode causar novas condições anaeróbias no composto devido ao decréscimo da concentração de oxigénio e do potencial oxidativo de MO (Paradelo *et al.*, 2010).

Os valores obtidos no ensaio de estabilização do composto Cr1, e de produção do composto Cr2, são apresentados na Tabela II.3, em anexo.

#### 5.2.4 Teste de auto-aquecimento dos compostos obtidos

Procedeu-se ao teste de auto-aquecimento em vasos de Dewar dos compostos obtidos por acidificação do CRV a pH 6 com substratos orgânicos (Cr1, Cr2 e Csc) de modo a verificar a influência do substrato na classe de estabilidade dos compostos, e aferir a necessidade de realizar posteriormente um ensaio de estabilização da MO fresca adicionada nos compostos em questão.

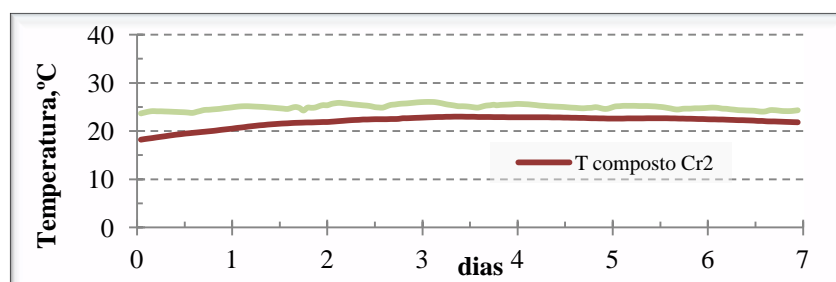
No composto Cr1 foi medida a temperatura máxima de 61,6 °C no duplicado A, quando a temperatura ambiente era de 21,7 °C, o que corresponde a um  $\Delta T_{\text{max}}$  de 39,9 °C, verificados ao fim de 2 dias e 16 horas de ensaio (Figura 5.4).



**Figura 5.4 – Teste de auto-aquecimento: composto Cr1.**

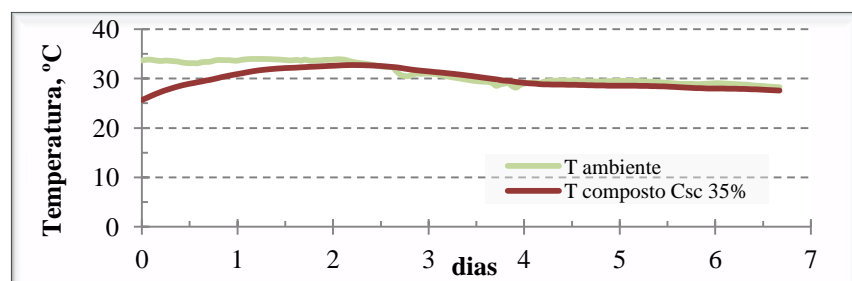
Dado que, na Figura 5.4, Cr1 evidencia resultados elevados no teste de auto-aquecimento, foi produzido o composto Cr2 através do ensaio de estabilização da caruma, discutido anteriormente no subcapítulo 5.2.3.

O composto Cr2 obteve a temperatura máxima de 23,0 °C com  $\Delta T_{\text{max}}$  de -1,9 °C, ao fim de 3 dias e 9 horas (Figura 5.5).



**Figura 5.5 – Teste de auto-aquecimento: composto Cr2.**

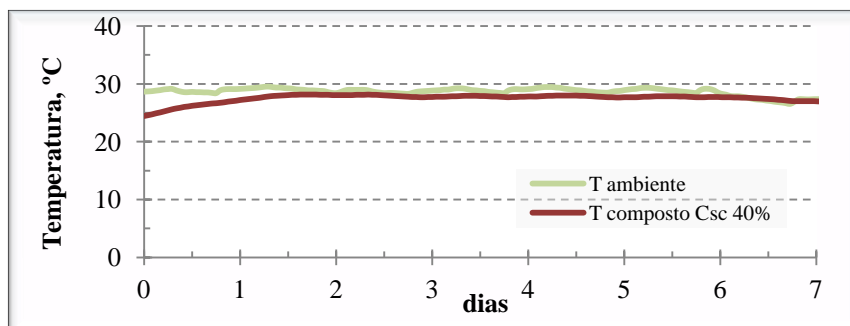
Segundo a Figura 5.6, a amostra de composto Csc chegou a 32,7 °C e obteve um  $\Delta T_{\text{max}}$  foi de 1,5 °C após 2 dias e 18 horas.



**Figura 5.6 – Teste de auto-aquecimento: composto Csc.**

O composto Csc quando preparado à humidade normal de 35%, no decorrer do teste apresentou um aspecto seco e um baixo auto-aquecimento (Figura 5.6), pelo que decidiu-se, por adaptação da meto-

dologia deste teste, preparar novo ensaio com uma amostra de composto Csc humedecida a 40% de modo concluir sobre a importância da humidade deste substrato no auto-aquecimento do composto obtido. Segundo a Figura 5.7, o composto Csc humedecido a 40% atinge a temperatura máxima de 28,2 °C e um  $\Delta T_{max}$  de 0,5 °C, após 6 dias e 13 horas.



**Figura 5.7 – Teste de auto-aquecimento: composto Csc, humedecido a 40%.**

Ambos os teores de humidade testados com Csc (Figuras 5.6 e 5.7) apresentam resultados de compostos de classe V de estabilidade.

Os valores obtidos pelos compostos Cr2 e Csc para o indicador  $\Delta T_{max}$  próximos de 0 °C devem-se à evidência de estabilidade, no qual a contribuição da actividade biológica para o auto-aquecimento é residual. Apenas o composto Cr1 tem um elevado auto-aquecimento, devido à amplitude dos processos biológicos exotérmicos resultantes da bio-oxidação da MO fresca.

Os testes de auto-aquecimento realizados às amostras preparadas com composto Csc não evidenciam o desenvolvimento da temperatura de Cr1, dado que a casca de pinheiro é um substrato com elevada resistência à decomposição, e a sua fracção orgânica é essencialmente constituída por lenhina, e não por outras substâncias facilmente biodegradáveis (Robbins e Evans, 2005).

Em síntese, os resultados obtidos no ensaio de auto-aquecimento pelos compostos em teste (Tabela 5.4), evidenciam que Cr2 e Csc pertencem à classe V de estabilidade, própria de um composto muito estável e bem maturado, e Cr1 à classe II de estabilidade, que designa um composto não maturado, novo ou muito activo.

**Tabela 5.4 – Teste de auto-aquecimento: Classe de estabilidade dos compostos Cr1, Cr2 e Csc.**

	$\Delta T_{max}$ (°C)	Classe de estabilidade *
<b>Composto Cr1</b>	39,9	II
<b>Composto Cr2</b>	-0,4	V
<b>Composto Csc</b>	<b>35%</b>	V
	<b>40%</b>	V

\* Ver Tabela 4.1

Segundo Brinton *et al.* (1995), a comercialização de composto com elevada capacidade de auto-aquecimento acresce de precauções por eventuais perigos de combustão durante o embalamento, armazenamento ou transporte de grandes quantidades do produto. A utilização agrícola de composto ainda activo pode induzir temporariamente a condições anaeróbias no solo, à imobilização de azoto, e à formação de substâncias fitotóxicas, o que incapacita a preservação da fertilidade e assim condicionar a produtividade agrícola (Gelsomino *et al.*, 2010).

De referir que segundo o CCQC (2001), a avaliação singular da estabilidade do composto pode não reflectir de melhor modo o grau de maturação do composto, dado que deve ser complementada com testes específicos de maturação nos quais se inclui os testes de germinação e crescimento das plantas.

Os valores registados de temperaturas durante o teste de auto-aquecimento em vasos de Dewar dos compostos Cr1, Cr2, e Csc encontram-se na Tabela II.4, em anexo.

### 5.3 ACIDIFICAÇÃO DO CRV COM S°

O ensaio de acidificação do CRV avalia a eficiência de acidificação a determinado pH, através de um ensaio de incubação com a aplicação de diferentes doses de S°, tendo sido estimada a dose de referência correctiva D, pelo método indicado por Martinez *et al.* (1988).

#### 5.3.1 Determinação da dose correctiva

Na Figura 5.8, são apresentados os resultados obtidos na curva de titulação do pH teórico do CRV em função da respectiva quantidade em meq de H<sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup> necessária à acidificação do composto, e determinada por titulação do Ferro (II).

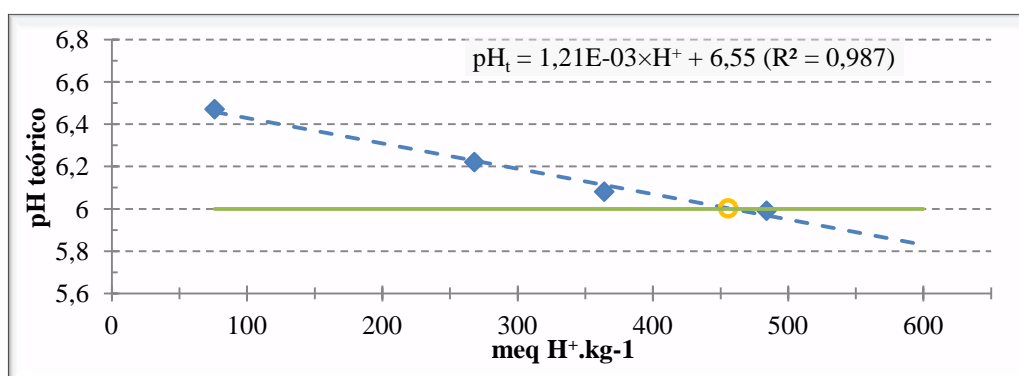


Figura 5.8 – Curva de titulação da acidificação do CRV.

Segundo o critério de extrapolação linear dos resultados da curva de titulação da Figura 5.8, o valor teórico da dose correctiva para acidificação do CRV a pH 6 é de *ca.* 456 meq H<sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup>, que corresponde a 7,3 g S°.kg<sup>-1</sup>, dose abreviada a D.



O método aplicado na determinação da curva de titulação, proposto por Martinez *et al.* (1988), não permite obter resultados de pH teóricos mais baixos que os obtidos, dado que as suspensões já foram preparadas com a proporção máxima (100:0) de solução acidificante, o sulfato de ferro heptahidratado (2% m/v).

Os valores obtidos para elaboração da curva de titulação são apresentados na Tabela III.1, em anexo.

### 5.3.2 Ensaio de incubação com S°

A Tabela 5.5 apresenta a quantidade de S° aplicada em cada amostra e os resultados de pH e CE obtidos no ensaio de acidificação.

**Tabela 5.5 – Ensaio de incubação com S°: Quantidade de S° adicionado, pH inicial (pH<sub>i</sub>), pH teórico (pH<sub>t</sub>), pH final (pH<sub>f</sub>), eficiência de acidificação (ea) e CE final (CE<sub>f</sub>) das amostras testadas e de controlo.**

Amostra	S°, % <sup>(A)</sup>	g S°.kg <sup>-1</sup>	pH <sub>i</sub>	pH <sub>t</sub>	pH <sub>f</sub>	ea, %	CE <sub>f</sub> , dS/m
<b>0D</b>	0,00	0,0		-	9,2	-	1,0
<b>0.5D</b>	0,59	3,6		6,3	7,5	61,5	2,5
<b>0.75D</b>	0,89	5,5	9,2	6,1	7,0	75,1	3,2
<b>1D</b>	1,18	7,3		6,0	6,7	78,1	3,4
<b>1.25D</b>	1,47	9,1		5,9	6,3	86,9	3,6
<b>1.5D</b>	1,77	10,9		5,7	6,1	89,2	3,8
<b>*0D</b>	0,00	0,0	9,2	-	9,3	-	1,0
<b>*1D</b>	1,15	7,3		6,0	6,9	75,0	3,3

(A) Percentagem mássica em m.s. (m/m) de S° em relação ao CRV

Os resultados apresentados na Tabela 5.5, de pH teórico, associado ao efeito de acidez teórico em meq H<sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup> induzido pela quantidade de S° aplicada nas amostras testadas, e de pH inicial e final obtidos no ensaio de incubação são as variáveis independentes determinantes ao cálculo, através da Equação 4.4, de cálculo da eficiência de acidificação de cada amostra testada.

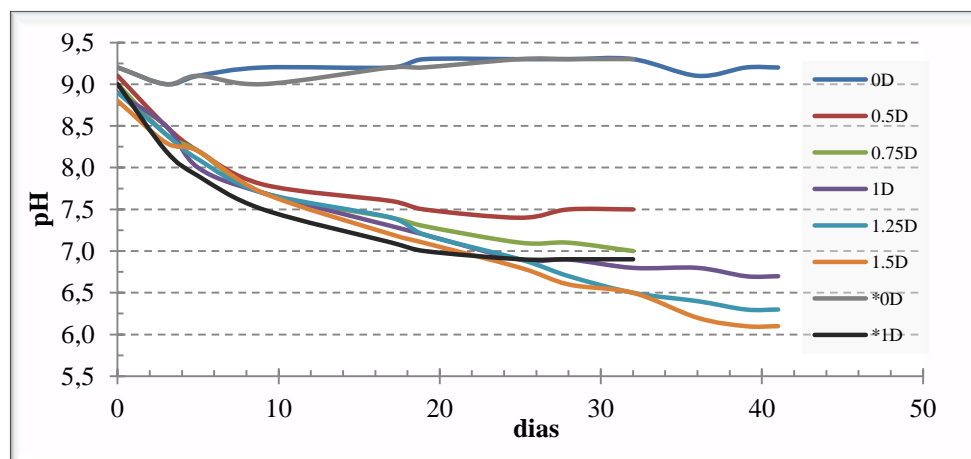
Observa-se nas amostras testadas 0.5D, 0.75D, 1D, 1.25D e 1.5D que o aumento da quantidade misturada de S° é inversamente proporcional ao pH teórico e ao pH final, tendo a realçar que a dose D, representada no ensaio de incubação pelo composto 1D, obteve uma eficiência de acidificação de 78,1% produzindo um composto muito ligeiramente ácido de pH 6,7. Contudo, a amostra 1.5D representa o pH final mais ácido de 6,1 (Tabela 5.5).

O aumento proporcional da eficiência de acidificação do CRV com o aumento da dose de S° adicionada nas amostras testadas no ensaio de incubação (Tabela 5.5) é um efeito igualmente observado por García de la Fuente *et al.* (2011) na acidificação de um composto de bagaço de azeitona.

## 5. Resultados e discussão

Os resultados de CE (Tabela 5.5) evidenciam um aumento proporcional à dose de S<sup>o</sup> adicionada, tendo 0D e 1.5D obtido uma CE<sub>f</sub> 1,0 e 3,8 dS/m, respectivamente. A amostra \*1D testada, constituída pela fracção de CRV inferior a 2 mm, apresenta uma diferença de CE pouco ampla, em comparação com 1D produzido com CRV não crivado.

A Figura 5.9 apresenta a evolução de pH durante o ensaio de incubação nas amostras de testadas e de controlo.



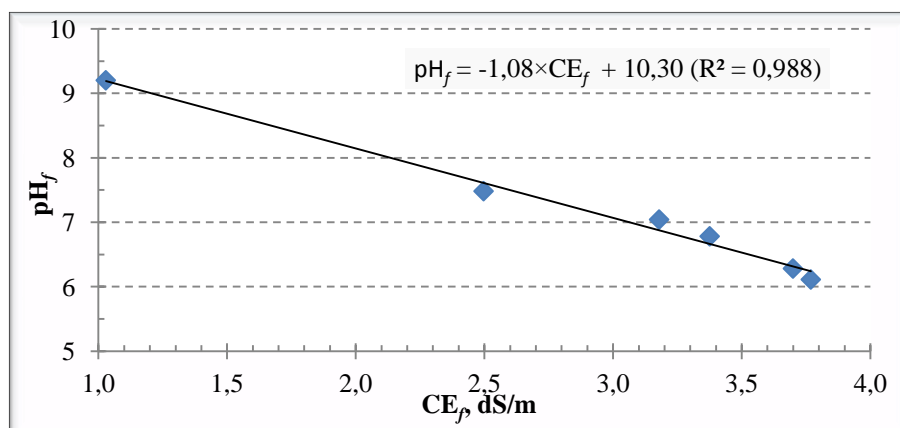
**Figura 5.9 – Ensaio de incubação com S<sup>o</sup>: Evolução do pH.**

Durante o ensaio de incubação observa-se que as linhas de evolução de pH sobrepõe-se, porém diferenciam-se quando o pH tende a estabilizar. A evolução do pH nestes compostos organo-minerais obtidos segue um decréscimo exponencial, enquanto nas amostras de controlo mantém-se constante e semelhante ao valor de pH inicial (Figura 5.9).

O composto \*1D, na fase inicial do ensaio evidência uma maior aceleração na redução de pH, contudo estabiliza a pH ligeiramente superior em relação à amostra 1D (Figura 5.9). De realçar que, as amostras 1D e \*1D com a mesma dose correctiva, estabilizam em pH final de 6,7 e 6,9 com eficiências de acidificação de 78,1% e 75,0% (Tabela 5.5) ao fim de 32 e 41 dias, respectivamente. Estas diferenças justificam-se dado que a diferente granulometria do CRV é influente na capacidade tampão das amostras testadas.

As constantes e a correlação estatística das equações exponenciais de acidificação dos compostos organo-minerais, são apresentadas em anexo na Tabela III.3.

A Figura 5.10 apresenta o pH final das amostras de composto obtidas no ensaio de acidificação com CRV não crivado, em função de cada CE final.



**Figura 5.10 – Ensaio de incubação com S<sup>0</sup>: Correlação entre o aumento da CE (CE<sub>f</sub>) e o decréscimo do pH (pH<sub>f</sub>), após o fim do ensaio.**

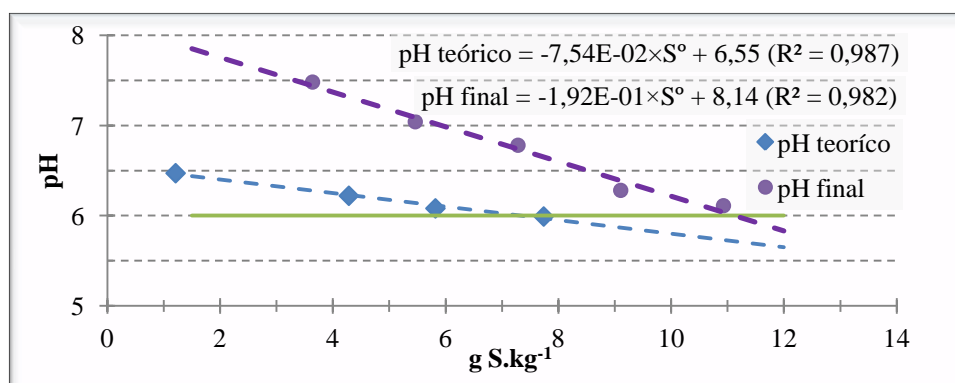
Ao final do ensaio de incubação verifica-se uma correlação elevada ( $R^2 = 0,988$ ) entre o aumento de CE<sub>f</sub> e o decréscimo do pH (Figura 5.10).

Segundo García de la Fuente *et al.* (2011), após a reacção de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> com a alcalinidade do composto, ocorre a solubilização essencialmente de iões sulfato responsáveis pelo aumento da salinidade do composto, podendo assim o processo de acidificação com S<sup>0</sup> contribuir com efeitos fitotóxicos nas plantas, caso estas não tolerem concentrações elevadas.

Os resultados de pH e a CE iniciais e finais, obtidos no decorrer do ensaio de incubação, tratados para a elaboração da Tabela 5.5 e Figuras 5.9 e 5.10, são apresentados na Tabela III.2, em anexo.

### 5.3.3 Análise da eficiência de acidificação

A Figura 5.11 apresenta os resultados do pH teórico da curva de titulação e o pH final obtidos no ensaio de acidificação do CRV com S<sup>0</sup>.



**Figura 5.11 – Comparativo dos resultados de acidificação do CRV: pH teórico da curva de titulação e pH final do ensaio de incubação em função da quantidade de enxofre aplicada em CRV.**

## 5. Resultados e discussão

O pH teórico, estimado pela curva de titulação, e pH final das amostras testadas no ensaio de incubação têm uma tendência linear com correlação elevada, porém é contraditório aos fundamentos metodológicos afirmar que o pH experimental seja inferior ao pH teórico extrapolado, como expectável com doses de S<sup>o</sup> superiores às apresentadas e caso se confirme a tendência linear das equações (Figura 5.11).

Na escala de resultados obtidos no ensaio de incubação, segundo a análise de tendência linear do pH final das amostras testadas (Figura 5.11), a dose de S<sup>o</sup> para acidificação do CRV a pH final 6, de 11,1 g S<sup>o</sup>.kg<sup>-1</sup> (R<sup>2</sup>=0.982), que na prática é uma quantidade ligeiramente superior à aplicada no composto 1.5D, de 10,9 g S<sup>o</sup>.kg<sup>-1</sup>, e que obteve um pH final de pH 6,1 (Tabela 5.5).

As equações apresentadas na Figura 5.11 justificam os valores de eficiência de acidificação obtidos pelas amostras testadas (Tabela 5.5), isto por a equação relacionada com o pH teórico induzir a um resultado de pH final inferior ao estimado, nas amostras testadas no ensaio de incubação com S<sup>o</sup>. As ineficiências de acidificação determinadas podem estar relacionadas com os seguintes factos:

- O sulfato de ferro e o S<sup>o</sup>, utilizados na elaboração da curva de titulação e no ensaio de incubação, respectivamente, interferem diferentemente na solubilização de substâncias carbonatadas e alcalinizantes constituintes do composto, pois têm propriedades químicas distintas (Horneck *et al.*, 2007), possivelmente responsáveis pela diferenciação dos declives das tendências lineares apresentadas;
- Nem todo o S<sup>o</sup> adicionado é bio-oxidado, uma porção do mineral é incorporada na matéria orgânica e/ou imobilizada por microrganismos (Roig *et al.*, 2004), enquanto a acidificação com o sulfato de ferro não envolve microrganismos;
- Como observado na Tabela 5.6, verifica-se a volatilização de S<sup>o</sup> durante o revolvimento do composto durante o ensaio de incubação.

**Tabela 5.6 – Síntese de resultados do CRV e os obtidos no ensaio de incubação para os compostos 1D e 1.5D em relação à qualidade do S<sup>o</sup> e à eficiência de acidificação.**

Composto				
	Unidades	CRV (lote #3)	1D	1.5D
S <sup>o</sup> adicionado <sup>(1)</sup>	% m.s.	0,00	1,18	1,77
S <sup>o</sup> do composto <sup>(2)</sup>	% m.s.	0,16	1,12	1,72
S <sup>o</sup> dissipado	% m.s.	0,00	0,22	0,21
S <sup>o</sup> retido <sup>(3)</sup>	%	100,0	81,4	88,1
Eficiência de acidificação <sup>(4)</sup>	%	-	78,1	89,2

<sup>(1)(4)</sup> ver Tabela 5.5;

<sup>(2)</sup> ver Tabela I.3, em anexo;

<sup>(3)</sup> determinado por:  $\left(1 - \frac{S^o \text{ do composto}}{S^o \text{ do compostos} + S^o \text{ dissipado}}\right) \times 100$ .

Os resultados apresentados na Tabela 5.6 confirmam que *ca.* 0,2% m.s. do S° adicionado é dissipado durante o ensaio de incubação. De notar que o S° retido e a eficiência de acidificação obtida pelos compostos 1D e 1.5D, são semelhantes.

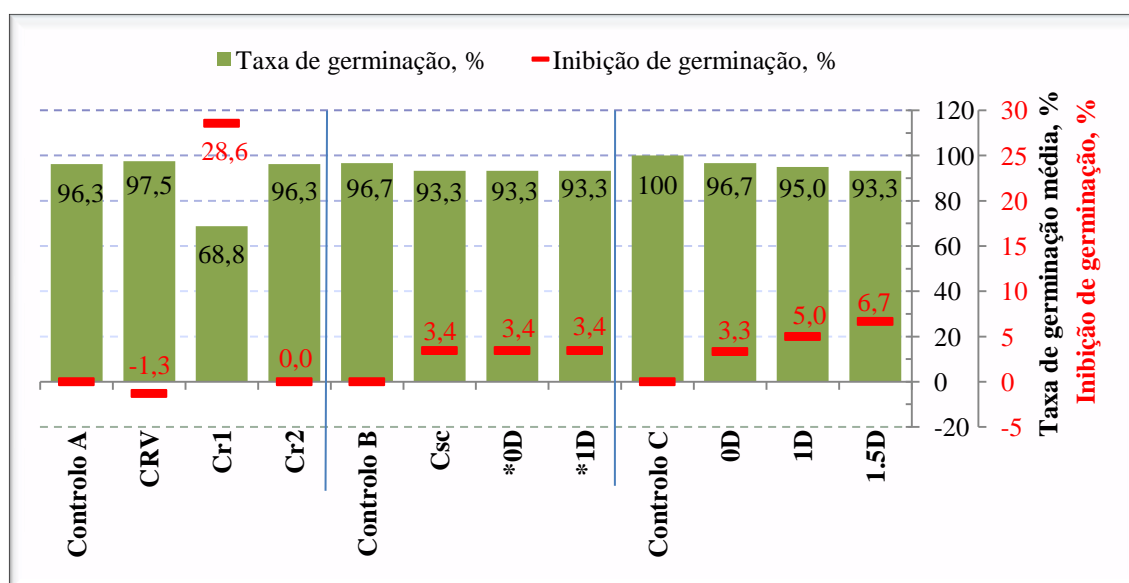
#### 5.4 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESPOSTA DAS PLANTAS

O ensaio de determinação da resposta das plantas com couve chinesa, dos compostos obtidos por acidificação e o CRV, realizou-se em três fases experimentais cada com três compostos testados e o respectivo substrato de controlo. O ensaio decorreu em condições ambientais controladas, porém na 3ª fase a duração do ciclo luminoso diário teve a duração de 16 horas, em vez das 12 horas nas fases anteriores.

Os compostos obtidos no ensaio de incubação 0.5D, 0.75D e 1.25D, não foram avaliados na resposta da planta, dado que apenas têm relevância para o estudo da eficiência de acidificação do CRV com S°.

##### *Resultados de germinação*

A Figura 5.12 apresenta os resultados obtidos para a TGm (Taxa de Germinação média) e InG (Inibição de Germinação).



**Figura 5.12 – Ensaio de determinação da resposta das plantas: taxa de germinação média e inibição de germinação.**

A maioria dos compostos apresenta uma TGm superior a 90%, o que é normal visto que a capacidade de germinação específica das sementes de couve chinesa utilizadas é de *ca.* 95%. A excepção foi o composto Cr1 com uma TGm de 68,8%, coincidente com a maior InG de 28,6% (Figura 5.12).

## 5. Resultados e discussão

Segundo Foth (1990), a taxa de assimilação de água pelas sementes é limitada na presença de uma CE superior à tolerável por estas, isto porque as substâncias fitotóxicas podem atrasar a germinação, lesar sementes e plantas, ou matar plantas. No entanto, os compostos acidificados com S<sup>o</sup> apresentam os teores de CE maiores, contudo a classe II de estabilidade do Cr1 pode ser o motivo pelo qual este último composto tem a maior InG. Segundo a CCQC (2001), os compostos quando activos podem solubilizar substâncias com efeitos fitotóxicos e imobilizar o azoto disponível essencial ao desenvolvimento das plantas.

Sobre a InG importa realçar que, CRV obteve um resultado negativo, Cr2 um resultado nulo e que os compostos da 2<sup>a</sup> fase uma inibição de 3,4%. No entanto, com a 3<sup>a</sup> fase verifica-se um aumento na InG desde 3,3% a 6,7% relacionado com uma maior CE, devido à acidificação dos compostos com diferentes quantidades de S<sup>o</sup>. Este elemento químico quando oxidado a ião sulfato contribui para o aumento dos sais solúveis, como verificado por García de la Fuente *et al.* (2007).

### Resultados de crescimento

A Figura 5.13 apresenta os resultados obtidos para a PFm (Peso Fresco médio) e InC (Inibição de Crescimento).

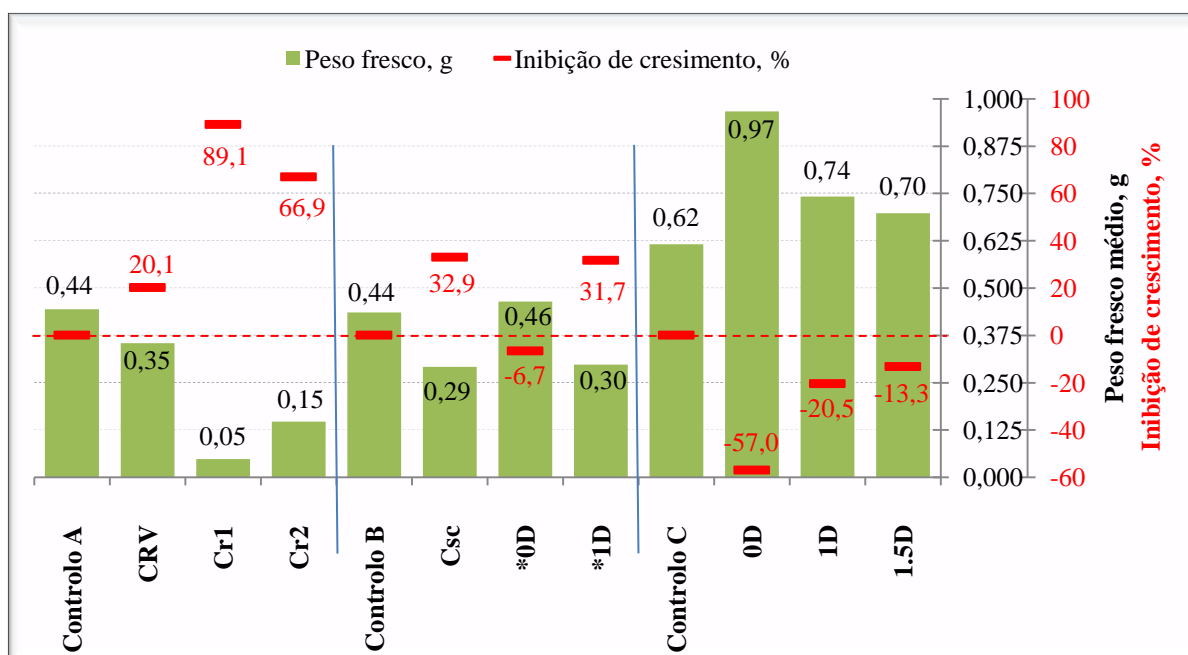


Figura 5.13 – Ensaio de determinação da resposta das plantas: peso fresco médio e inibição de crescimento.

Segundo a Figura 5.13, os compostos Cr1, Cr2 e Csc obtidos por mistura de substratos orgânicos acidificantes expõem, respectivamente, os piores resultados de InC com 89,1%, 66,9% e 32,9% e o composto CRV uma InC de 20,1%.

O resultado do composto Cr1 exprime as limitações da presença de substâncias fitotóxicas e da imobilização de azoto em compostos não maturados em limitar o desenvolvimento das plantas (CCQC, 2001), pois é um composto que pertence à classe II de estabilidade.

De realçar que, os compostos Cr2 e Csc em conjunto com CRV, todos de classe V de estabilidade (Tabela 5.4), podem estar erroneamente associados a compostos maturados de acordo com a classificação apresentada na Tabela 4.1, devido aos resultados obtidos de InC.

Segundo o CCQC (2001), a presença de eventuais fitotóxicos nos compostos CRV e de Cr2 após uma fase activa de compostagem, ou dos materiais orgânicos não compostados no composto Csc, prejudica o desenvolvimento das plantas, contudo é um efeito não evidenciado pela InG destes compostos, apresentados na Figura 5.12.

Shaffer (2010) afirma que, após a fase termofílica o material compostado pode ainda apresentar alguma fitotoxicidade devido a ácidos orgânicos voláteis, originados na decomposição da MO fresca, ou de materiais parcialmente decompostos, sendo necessário realizar uma fase de maturação, de duração não inferior a 21 dias, de modo a reduzir níveis de toxicidade e potenciar uma população de microorganismos equilibrada e benéfica à agricultura.

Exemplo do referido, é o facto do aumento do grau de maturação do CRV no decorrer do ensaio de acidificação evidenciado pela diferença na InC de 0D e CRV, tendo estes obtido -57,0% e 20,1%, respectivamente.

Em \*0D e 0D, a diferença de InC entre os compostos de 50,3% reflecte a importância da granulometria do CRV no crescimento inicial da couve chinesa.

O equilíbrio de porosidade, importante no desenvolvimento dos rebentos, foi prejudicado pela crivagem e utilização da fracção inferior a 2 mm do CRV, nos compostos \*0D e \*1D, dado que a crivagem contribuiu para a redução do número de macroporos dos compostos. Consoante a tolerância das plantas a baixos teores de oxigénio, um substrato de desenvolvimento limitado em termos de macroporosidade pode não garantir o rearejamento do meio, o que causa o apodrecimento de sementes ou danifica as raízes dos cultivos (Foth, 1990).

Em complemento da interpretação da Figura 5.13, os compostos obtidos no ensaio de incubação com S°, à excepção de \*1D, apresentam uma InC negativa devido ao PFm dos substratos testados serem superiores ao obtido no respectivo controlo. De observar que, os compostos acidificados com quantidades crescentes de S° têm maior CE final (Tabela 5.5), um facto que justifica a tendência decrescente no PFm nestes compostos, e consequente maior InC.

Um teor elevado em sais solúveis, tende a condicionar o desenvolvimento das raízes devido à exposição a uma maior pressão osmótica, não assimilando água e nutrientes de modo eficiente. No entanto, é possível a lixiviação e consequente redução da CE, desde que água de irrigação tenha menor

concentração em sais solúveis que o meio saturado. Uma irrigação em excesso tem a capacidade de diminuir gradualmente o teor em sais, devido ao equilíbrio osmótico entre as massas de águas (Brady e Weil, 2004; Foth, 1990).

Os resultados obtidos para o índice de InC (Figura 5.13) possibilitam a discussão da importância do grau de maturação dos compostos e granulometria do CRV com maior rigor e abrangência, comparativamente à análise dos índices de germinação.

A alteração do ciclo diário e noturno entre fases do ensaio não interferiu nos resultados de inibição à germinação e de crescimento dos substratos testados, visto que são calculados em relação ao substrato de controlo.

Os resultados recolhidos não tratados para a elaboração das Figuras 5.12 e 5.13, encontram-se na Tabela IV.1, em anexo.

### *Considerações sobre a maturação dos compostos*

Dado que, o termo maturação está relacionado com a presença de substâncias fitotóxicas e o crescimento das plantas ser também condicionado pelas propriedades físico-químicas dos compostos, não é possível fazer uma comparação global entre estes, apenas de um conjunto de compostos com parâmetros físico-químicos com valores semelhantes.

Do ensaio de determinação da resposta das plantas com couve chinesa (Figuras 5.12 e 5.13) e consequente interpretação comparativa do grau de maturação dos compostos testados, observa-se que:

- Cr2 tem uma maturação superior que Cr1, devido à estabilização da caruma;
- \*0D tem uma maturação superior que \*1D, por apresentar uma menor CE;
- 0D tem um grau maturação superior ao de CRV, pois o ensaio de incubação contribui para o aumento da maturação dos compostos;
- Verifica-se que o grau de maturação dos compostos 0D, 1D, e 1.5D, decresce devido à CE crescente dos compostos.

O composto Csc não é comparado em termos de maturação com outros compostos, dado que é o único obtido com o substrato de casca de pinheiro.

De realçar que, os compostos obtidos por mistura de substratos orgânicos, à excepção de Cr1, pertencem à classe V de estabilidade, que segundo o documento publicado por Brinton *et al.* (1995) é uma classe própria de compostos maturados, contudo os resultados de InC obtidos pelos compostos em questão evidenciam ser incorrecto fazer uma analogia entre a estabilidade e a maturação destes. O teste de auto-aquecimento, de atribuição da classe de estabilidade aos compostos como proposto no documento referenciado, pode induzir a falsos resultados de maturação pois não avalia a presença de eventuais substâncias fitotóxicas.



Os resultados obtidos para a determinação dos índices de inibição de germinação e crescimento, e respectivos coeficientes de variância, e valores de pH e CE inicial são apresentados na Tabela IV.2, em anexo.

#### ***Determinação de efeitos negativos significativos dos compostos testados***

Um dos requisitos para a atribuição do rótulo ecológico comunitário ao composto é não apresentar efeitos negativos significativos à germinação das plantas ou no seu crescimento posterior (C.E., 2007a e 2006), efeitos observáveis e passíveis de avaliação pela norma EN 16086-1:2011. O rótulo ecológico comunitário visa incentivar a produção e o consumo de produtos e de serviços que apresentam um reduzido impacto ambiental por comparação com outros produtos e serviços da mesma categoria (C.E., 2013a).

A Figura 5.14 ilustra o desenvolvimento de patologias foliares no decorrer do ensaio de determinação da resposta das plantas de couve chinesa.



**Figura 5.14 – Ensaio de determinação da resposta das plantas: Ilustrações de fitopatologias: (a) clorose e (b) queimadura foliar.**

Cr1, Cr2 e Csc apresentam efeitos patológicos associados à clorose foliar (Figura 5.14a), tendo a patologia, ao fim de 16 dias de ensaio, evoluído a queimadura foliar em algumas folhas no composto Cr1 (Figura 5.14b), um caso mais severo de fitotoxicidade e que pode estar relacionado por Cr1 pertencer à classe II de estabilidade (CCQC, 2001; Brinton *et al.*, 1995).

A clorose é uma anomalia patológica associada a problemas de síntese de clorofila devido a desequilíbrios nutricionais ou substâncias fitotóxicas, sendo detectada pela coloração verde-pálida ou amarelada das folhas, que em condições de maior severidade pode resultar em necrose foliar quando as margens ou ponta das folhas apresentam tonalidades castanhas ou mais escuras (Brady e Weil, 2004).

## 5. Resultados e discussão

No ensaio de determinação da resposta das plantas com couve chinesa verificaram-se efeitos negativos significativos, nos seguintes compostos testados:

- Cr1, devido à evidência de clorose e queimaduras foliares, por uma InG de 26,6% e uma InC de 89,1%;
- Cr2, devido à evidência de clorose e por uma InC de 66,9%;
- Csc, devido à evidência de clorose.

Não houve evidência de efeitos negativos significativos nos compostos CRV, \*0D, \*1D, 0D, 1D e 1.5D.

### 5.5 SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE EFEITOS SECUNDÁRIOS NOS COMPOSTOS OBTIDOS

A Tabela 5.7 apresenta a caracterização geral físico-química dos compostos obtidos importantes à interpretação dos resultados produzidos pelos ensaios de acidificação do CRV a pH 6 com os substratos caruma, casca de pinheiro e S<sup>o</sup>.

**Tabela 5.7 – Caracterização geral de compostos acidificados obtidos.**

Parâmetro	Unidades	CRV *	Compostos acidificados obtidos				
			com substratos orgânicos			com S <sup>o</sup>	
			Cr1	Cr2	Csc	1D	1.5D
pH	Unidades pH	9,2	6,0	7,8	6,1	6,7	6,1
CE	dS/m	1,1	2,2	1,3	0,4	3,4	3,8
MO	% m.s.	40,0	65,4	60,5	85,3	41,7	41,7
Razão C:N	gC.gN <sup>-1</sup>	20,6	24,8	21,7	84,2	21,6	21,5
Estabilidade	Classe	V	II	V	V	V	V
InG	%	-1,3	28,6	0,0	3,4	5,0	6,7
InC	%	20,1	89,1	66,9	32,9	-20,5	-13,3

\* Caracterização do lote 3 de CRV, utilizado no ensaio de acidificação com S<sup>o</sup> e de determinação da resposta das plantas.

**Nota:** Dos compostos produzidos no ensaio de incubação, optou-se por incluir na caracterização geral apenas os compostos 1D e 1.5D, por serem relevantes em termos do método aplicado e resultado de pH obtido, respectivamente.

De acordo com os dados da Tabela 5.7, os compostos Cr1, Csc e 1.5D apresentam um pH de *ca.* 6,0, 1D um valor quase neutro e Cr2 um pH ligeiramente alcalino de 7,8. Além da influência do ensaio de acidificação no pH, observa-se nos diversos compostos apresentados a ocorrência de efeitos secundários nos parâmetros de CE, MO, razão C:N, classe de estabilidade, InG e InC, em comparação com os respectivos valores de CRV.

O aumento da CE em Cr1 pode estar relacionado com a solubilização das substâncias acidificante da caruma no composto, pois verifica-se em Cr2 a atenuação do efeito acidificante em simultâneo com a

diminuição da CE, a valores ligeiramente superiores aos de CRV. Os compostos 1D e 1.5D têm o maior aumento de CE, em consequência da oxidação dos S<sup>o</sup> adicionado no ensaio de incubação. Porém, devido à reduzida salinidade da casca de pinheiro, o composto Csc tem uma CE inferior à de CRV.

O aumento geral da MO e da razão C:N nos compostos Cr1, Cr2 e Csc, neste último de elevada amplitude, deve-se à mistura dos respectivos substratos orgânicos ácidos, enquanto o ligeiro aumento nos compostos 1D e 1.5D poderá estar relacionado com a actividade bio-oxidativa do S<sup>o</sup>, isto porque os microrganismos autotróficos têm a capacidade de fixar o carbono e azoto atmosférico durante a síntese celular (Brady e Weil, 2004).

Dos compostos produzidos por mistura dos substratos orgânicos ácidos, Cr1 é o único composto testado com a InG superior a 10% e de classe II de estabilidade, devido à mistura de caruma de pinheiro fresca em CRV. Nestes compostos, os eventuais efeitos fitotóxicos e/ou de imobilização de azoto durante o crescimento das plantas contribuem para o aumento da InC em comparação com os resultados obtidos pelo CRV

De realçar que, os compostos 1D e 1.5D têm uma InC negativa, dado que o ensaio de incubação com S<sup>o</sup> contribui para o aumento do grau de maturação, e crescente pois uma maior CE prejudicar positivamente a maturidade dos compostos.



## 6. CONCLUSÕES

O âmbito da presente dissertação tem o objectivo principal de acidificar CRV a pH 6, com caruma, casca de pinheiro e com substrato mineral S°. O trabalho experimental desenvolvido tem importância científica relacionada com a acidificação do composto e dos efeitos secundários na sua qualidade.

Os três lotes de CRV utilizados nos ensaios laboratoriais, em termos de médios, têm um pH de 9,1, um valor fortemente alcalino que limita o seu uso agrícola devido à capacidade de alterar o pH de suportes de cultura e, com menor amplitude, o pH de solos e assim poder prejudicar a disponibilidade de nutrientes ideais ao desenvolvimento dos cultivos.

Obteve-se diversos compostos com propriedades físico-químicas distintas entre si consoante a quantidade e qualidade do substrato acidificante, embora apenas os compostos Cr1, Csc e 1.5D tenham alcançado a acidez pretendida, ou um valor próximo.

Da acidificação de CRV a pH 6 com os substratos orgânicos em estudo, verifica-se que é necessário uma elevada fracção de mistura, de 50% em caruma triturada a 1 mm ou de 79% em casca de pinheiro a 10 mm. Porém, estes substratos procedem a efeitos secundários nos compostos Cr1, Cr2 e Csc, contribuindo essencialmente para o aumento da MO. O efeito acidificante da caruma triturada 1 mm, é superior à da triturada a 10 mm, contudo a granulometria da casca de pinheiro tem pouca importância para o efeito acidificante.

Pelo facto de Cr1 pertencer à classe II de estabilidade a consequente decomposição da caruma fresca e facilmente biodegradável atenua o efeito acidificante de Cr1, tendo o pH inicial de 6,0 aumentado para 7,8.

Do ensaio de incubação com S°, em relação à dose D (7,3 g S°.kg<sup>-1</sup>) produziram-se os seguintes compostos organo-minerais: 0.5D; 0.75D; \*1D; 1D; 1.25D; e 1.5D, que estabilizaram no pH final de 7,5; 7,0; 6,9; 6,7; 6,3; e 6,1, respectivamente. A eficiência de acidificação nas amostras varia de 61,5% a 89,2%, e aumenta proporcionalmente com a quantidade de S° aplicada para acidificação.

O recurso ao produto químico S°, em comparação ao de substratos orgânicos, evidencia efeitos secundários menos expressivos. O processo bio-oxidativo acidificante tende a preservar os parâmetros físico-químicos característicos do composto CRV, à excepção do verificado aumento de CE proporcional à amplitude de acidificação do composto ( $R^2=0,988$ ), em consequência da dose de S° adicionada.

Os procedimentos de acidificação de composto com produtos químicos, propostos na metodologia de Martinez *et al.* (1988), não consideram eventuais ineficiências processuais de extrapolação de resultados teóricos aos obtidos no ensaio de incubação.

Na realização do ensaio de incubação com a fracção de CRV inferior a 2 mm observa-se que, em comparação com o composto não crivado, o pH estabiliza em valor superior e com uma eficiência de acidificação menor, porém o processo de acidificação é ligeiramente acelerado.

A determinação da resposta das plantas, através da norma EN 16086-1:2011, evidencia que os compostos CRV, Cr1, Cr2 e Csc, quando comparados ao respectivo controlo, inibem o crescimento das plantas, no entanto o mesmo não se verifica na germinação, à excepção para o composto Cr1. Este último, de classe II de estabilidade, obteve a pior InG e InC, de 28,6% e 89,1%, respectivamente.

Os compostos Cr2, Csc e CRV, todos pertencentes à classe V de estabilidade e designados de maturados segundo Brinton *et al.* (1995), apesar de não limitarem a germinação das sementes apresentam efeitos negativos ao crescimento das plantas, com uma InC (%) de 66,9, 32,9 e 20,1, respectivamente.

De realçar, considerando o explicitado no parágrafo anterior, que a avaliação da maturação dos compostos por testes de auto-aquecimento em vasos de Dewar, pode induzir a falsos resultados na atribuição do grau de maturação.

Os compostos obtidos no ensaio de incubação com S° evidenciam que este ensaio melhora o grau de maturação do composto, contudo as consequentes concentrações de CE superiores contribuem para o aumento da InG e InC. Por estes factos, os compostos 0D, 1D e 1.5D apresentam resultados de InC (%) negativos e crescentes, de -57,0, -20,5 e -13,3, respectivamente.

Porém, os compostos \*0D e \*1D obtiveram os piores resultados dos compostos produzidos no ensaio de incubação, respectivamente com uma InC de -6,7% e 31,7%, devido à sua granulometria inferior a 2 mm.

Apenas os compostos orgânicos Cr1, Cr2, e Csc apresentam efeitos negativos significativos à germinação das plantas ou no seu crescimento posterior.

Os resultados desenvolvidos pelo índice de InC possibilitam uma avaliação da maturação dos compostos com maior rigor e abrangência, em comparação com a InG. Todavia, os compostos não foram classificados em termos de maturação dado que a norma EN 16086-1:2011, até à data, não é autenticada pelas entidades com competência à certificação e atribuição classificativa do grau de maturação do composto.

## 7. PERSPECTIVAS FUTURAS

O conjunto de resultados obtidos possibilitam deixar questões em aberto e prováveis pontos de partida para futuras investigações laboratoriais. Seria importante o estudo dos seguintes aspectos:

- Avaliar a influência dos parâmetros temperatura e capacidade de retenção de água de CRV na cinética bio-oxidativa do  $S^0$ , de modo a potenciar o processo de acidificação perante condições ambientais controladas e optimizadas. Também seria interessante aferir a exequibilidade à escala real;
- Avaliar a redução da CE dos compostos obtidos por irrigação em excesso, após o ensaio de incubação, de modo a mitigar o verificado aumento salinidade próprio do processo de bio-oxidação do  $S^0$ ;
- Propor uma metodologia de acidificação com  $S^0$  através de uma regressão múltipla abrangente, replicável, precisa e válida, necessária à determinação da dose correctiva de acidificação a determinado pH, em compostos diferenciados qualitativamente entre si;
- Realizar ensaios de crescimento com couve chinesa, e de outras espécies, em condições ambientais naturais e até uma fase de desenvolvimento mais avançada.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amlinger, F., Peyr, S., Hildebrandt, U., Musken, J., Cuhls, C., e Clemens, J. (2009). *The state of art of composting - a guide to good practice*. Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management.
- Anónimo (2008). *Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto*. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva - INIA.
- APA (2011). *Resíduos Urbanos em 2010*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Avramidou, P., Evangelou, A., e Komilis, D. (2013). Use of municipal solid waste compost as a growth media for an energy plant. *Journal of Environmental Management* 121, 152-159.
- Barth, J., Amlinger, F., Favoino, E., Siebert, S., Kehres, B., Gottschall, R., *et al.* (2008). *Compost production and use in EU*. European Compost Network.
- Bauer, A., e Black, A. L. (1994). Productivity, Quantification of the Effect of Soil Organic Matter Content on Soil. *Soil Science Society of America Journal* 58, 185-193.
- BioCycle (2013). *History of BioCycle*. Obtido em 29 de Agosto de 2013, de <http://www.biocycle.net/home/history>
- Brady, N. C., e Weil, R. R. (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils 2ª Ed.* Pearson Education Ltd.
- Brinton, W. F., Evans, E., Droffner, M. L., e Brinton, R. B. (1995). A standardized dewar test for evaluation of compost self-heating. *BioCycle* 36(11), 1-16.
- C.E. (1999). *Directiva 1999/31/CE* do conselho de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros.
- C.E. (2006). *Decisão n.º 2006/799/CE* de 3 de Novembro de 2006, que estabelece os critérios ecológicos revistos e os respectivos requisitos de avaliação e verificação para a atribuição do rótulo ecológico comunitário aos correctivos de solos.
- C.E. (2007a). *Decisão n.º 2007/64/CE* de 15 de Dezembro de 2006, que estabelece os critérios ecológicos revistos e respectivos requisitos de avaliação e verificação para atribuição do rótulo ecológico comunitário aos suportes de cultura.
- C.E. (2007b). *Regulamento n.º 834/2007* do conselho de 28 de Junho de 2007, relativo à produção biológica e à rotulagem dos produtos biológicos e que revoga o Regulamento n.º 2092/91.
- C.E. (2008a). *Green paper on the management of biowaste in the European Union*. Comissão das Comunidades Europeias.

C.E. (2008b). *Regulamento n.º 889/2008* de 5 de Setembro de 2008, que estabelece as normas de execução do Regulamento n.º 834/2007 do Conselho relativo à produção biológica e à rotulagem dos produtos biológicos.

C.E. (2010). *An analysis of the EU organic sector*. European Commission for Agricultural and rural Development.

C.E. (2013a). *Revision of European Ecolabel Criteria for Soil Improvers and Growing Media - Preliminary Report*. Joint Research Center - Comissão Europeia

C.E. (2013b). *The Common Agricultural Policy after 2013*. Obtido a Agosto de 27 de 2013, de <http://ec.europa.eu/agriculture/cap-post-2013>.

CCME (1996). *Guidelines for compost quality*. Canadian Council of Ministers of the Environment.

CCQC (2001). *Compost Maturity Index*. California Compost Quality Council.

CEN/BT/Task Force 151 (2005). *Determination of electrical conductivity in soil, sewage sludge and biowaste*. European Compost Network.

CEN/BT/Task Force 151 (2005). *Determination of pH in soil, sewage sludge and biowaste*. European Compost Network.

CEN/BT/Task Force 151 (2005). *Solid materials. Determination of bulk density*. European Compost Network.

CEN/TC 233 (2008). *Determination of aerobic biological activity. Part 2: Self heating test for compost*. European Compost Network.

Cordeiro, N. (2010). *Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos - caso de estudo ALGAR S.A.* Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Tecnologias Ambientais. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia.

CSU (2012). Jerome Goldstein, EcoPioneer 1931-2012. *Compost Science & Utilization* 20(2) , 66.

Cunha-Queda, A. C. (1999). *Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agro-Industrial. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia.

Cunha-Queda, A. C. (2007). Qualidade dos "Compostos" Existentes no Mercado. Evento "A qualidade dos correctivos agrícolas orgânicos comercializados em Portugal: Interesse para o solo e para as culturas" realizado em Baguim do Monte, a 28 de Novembro de 2007. Lipor.

- Cunha-Queda, A. C., Ribeiro, H. M., Ramos, A., e Cabral, F. (2007). Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. *Bioresource Technology* 98, 3213-3220.
- d'Oliveira, R. V. (2010). *Testes de Maturação Aplicados a Matrizes Bioestabilizadoras*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Tecnologias Ambientais. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia.
- ECN (2010). *European Quality Assurance for Compost is launched*. European Compost Network.
- EEA (2013). *Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European countries*. European Environment Agency.
- Elder, F. B. (1956). Composting: Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes. *American Journal of Public Health Nations Health* 46(11), 1470-1471.
- EN 12879 (2000). *Characterization of sludges. Determination of the loss on ignition of dry mass*. Instituto Português da Qualidade.
- EN 12880 (2000). *Characterization of sludges. Determination of dry residue and water content*. Instituto Português da Qualidade.
- EN 16086-1 (2011). *Soil improvers and growing media. Determination of plant response. Part 1: Pot growth test with Chinese cabbage*. Instituto Português da Qualidade.
- ENRRUBDA (2003). *Estratégia Nacional para a redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados a Aterro*. Instituto Nacional de Resíduos.
- EPA (1997). *Innovative Uses of Compost: Erosion Control, Turf Remediation, and Landscaping*. Environmental Protection Agency.
- EPAGMA (2009). *Growing Media in EU: Fundamental for Modern Horticulture*. European Peat and Growing Media Association.
- Eurostat (2013). *Area under organic farming: Data 2005-2011*. Eurostat
- Essington, M. E. (2003). *Soil and water chemistry: an integrative approach*. CRC Press LLC.
- Foth, H. D. (1990). *Fundamentals of soil science - 8ª Ed*. John Wiley & Sons.
- Francou, C., Poitrenaud, M., e Houot, S. (2005). Stabilization of organic matter during composting: Influence of process feedstocks. *Compost Science & Utilization* 13(1), 72-83.
- Frenay, J. R. (1967). Oxidation of Sulphur in Soils. *Mineralium Deposita* 2, 181-187.
- García de la Fuente, R., Carrión, C., Botella, S., Fornes, F., Noguera, V., e Abad, M. (2007). Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes. *Bioresource Technology* 98, 3561-3569.

- García de la Fuente, R., Cuesta, G., Sanchís-Jiménez, E., Botella, S., Abad, M., e Fornes, F. (2011). Bacteria involved in sulphur amendment oxidation and acidification processes of alkaline 'alperujo' compost. *Bioresource Technology* 102, 1481-1488.
- Gelsomino, A., Abenavoli, M. R., Princi, G., Attinà, E., Cacco, G., e Sorgonà, A. (2010). Compost from fresh Orange Waste: A suitable substrate for nursery and field Crops? *Compost Science & Utilization* 18(3), 201-210.
- Germida, J. J., e Janzen, H. H. (1993). Factors affecting the oxidation of elemental sulphur in soils. *Fertilizer Research* 35, 101-114.
- Gonçalves, M. S. (2005). *Gestão de Resíduos Orgânicos*. Sociedade Portuguesa de Inovação.
- Gu, W., Zhang, F., Xu, P., Tang, S., Xie, K., Huang, X., *et al.* (2011). Effects of sulphur and *Thiobacillus thioparus* on cow manure aerobic composting. *Bioresource Technology* 102, 6529-6535.
- Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers.
- Haug-Baltzell, A. (2011). *The Suitability of Worm Castings & Compost Tea in Organic Hydroponic Lettuce Propagation*. University of Arizona.
- Hoitink, H. A., Stone, A. G., e Han, D. Y. (1996). Suppression of plant diseases by compost. *X Congresso Nacional Agrônomico/III Congresso de Fitopatologia*, volume I, 47-52. São José, Costa Rica.
- Horneck, D., Wysocky, D., Hopkins, B., Hart, J., e Stevens, R. (2007). *Acidifying Soil for Crop Production*. The Pacific Northwest Extension. Oregon State University.
- Hunt, J. F., Honeycutt, C. W., e Yarborough, D. (2010). Effect of Pine Bark Mulch on Lowbush Blueberry (*Vaccinium angustifolium*) Water Demand. *International Journal of Fruit Science* 10, 390-415.
- ICNF (2013). *IFN6 - Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- Ingram, D. L., Henley, R. W., e Yeager, T. H. (1993). *Growth Media for Container Grown Ornamental Plants*. Florida Cooperative Extension Service. University of Florida.
- Insam, H., e de Bertoldi, E. (2007). Microbiology of the Composting Process. No livro de L. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier, & E. Stentiforf, *Compost Science and Technology*, Volume 8. Elsevier.
- Jacob, S. (2010). *Pine Straw Mulch Acidity: Separating Fact From Fiction Throught Analytical Testing*. Acedido a 29 de Agosto de 2013 em <http://www.PineStraw.com> .
- Krewer, G., e Ruter, J. (2012). *Fertilizing Highbush Blueberries in Pine Bark Beds*. The University of Georgia Cooperative Extension.

- Lemos, P. (2013). O novo plano estratégico para os resíduos urbanos. Evento "7º Fórum Nacional dos Resíduos" realizado em Lisboa, a 10 e 11 de Abril de 2013.
- Mahimairaja, S., Bolan, N. S., e Hedley, M. J. (1995). Dissolution of phosphate rock during the composting of poultry manure: an incubation experiment. *Fertilizer Research* 40, 93-104.
- Martinez, F. X., Casasayas, R., Burés, S., e Cañameras, N. (1988). Titration curves of different organic substrates. *Acta Horticulturae* 221, 105-116.
- Martinho, M. G., Gonçalves, M. G., e Silveira, A. (2011). *Gestão Integrada de Resíduos*. Universidade Aberta.
- McKinley, V. L., Vestal, J. R., e Eralp, A. E. (1985). Microbiological activity in compost. *BioCycle* 26, 47-50.
- Melin, S. (2008). *Bark as Feedstock for Production of Wood Pellets*. Wood Pellets Association of Canada.
- Orman, S. (2012). Effects of elemental sulphur and farmyard manure applications to calcareous saline clay loam soil on growth and some nutrient concentrations of tomato plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10(2), 720-725.
- Paradelo, R., Moldes, A. B., Prieto, B., Sandu, R.-G., e Barral, M. T. (2010). Can Stability and Maturity Be Evaluated in Finished Composts from Different Sources?. *Compost Science & Utilization* 31(1), 22-31.
- Pereira, C. (2009). *A propósito do Pinhal Português*. Acedido a 5 de Setembro de 2013 em <http://nатурlink.sapo.pt>.
- PERSU II (2007). *Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos, 2007-2016*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Raviv, M. (2005). Production of High-quality Composts for Horticultural Purposes: A Mini-review. *HortTechnology* 15(1), 52-57.
- Robbins, J. A., e Evans, M. R. (2005). *Growing Media for Container Production in a Greenhouse or Nursery*. The University of Arkansas Division of Agriculture - Research & Extension.
- Roig, A., Cayuela, M. L., e Sánchez-Monero, M. A. (2004). The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive ml wastes. *Chemosphere* 57, 1099-1105.
- Roy, R. N., Finck, A., Blair, G. J., e Tandon, H. L. (2006). *Plant nutrition for food security - A guide for integrated nutrient management*. Food and Agriculture Organization.
- Scialabba, N. E., e Hattam, C. (2002). *Organic agriculture, environment and food security*. Food and Agriculture Organization.

- Shaffer, B. (2010). Curing compost - An antidote for thermal processing. *Acres U.S.A* 40(11).
- Silveira, A. (1999). *Contribuição para o Desenvolvimento de Modelo Cinético de Compostagem*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Sanitária, especialidade em Sistemas de Tratamento. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Silveira, A., Centeno, M. L., e Cunha-Queda, A. C. (2005). *Compostagem de lamas de ETAR de agro-indústrias*. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Tiquia, S. M. (2010). Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere* 79, 506-512.
- Tucker, M. R. (1995). *Chemical Characteristics of pine bark*. North Carolina Department of Agriculture & Consumer Services.
- UNE 77314 (2001). *Soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation*. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- USCC (2001). *Field guide to compost use*. The United States Composting Council.
- WRAP (2011). *Compost Production for use in Growing Media - a Good Practice Guide*. Waste & Resources Action Programme.

## **ANEXOS**





# I. CARACTERIZAÇÃO DOS LOTES DE CRV E COMPOSTOS ACIDIFICADOS OBTIDOS

**Tabela I.1 – Caracterização dos lotes de CRV - pH, CE, Humidade, MO e densidade.**

Parâmetro	Lote de CRV	Medições/Determinações				Média	Desvio padrão
<b>pH</b> (unidades de pH)	#1	9,2	9,3	9,2	9,2	9,1	0,2
	#2	9,0	9,0	8,9	8,8		
	#3	9,2	9,2	-	-		
<b>CE</b> (dS/m)	#1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	0,1
	#2	1,4	1,1	-	-		
	#3	1,2	1,2	1,1	1,1		
<b>Humidade</b> (%)	#1	39,2	39,4	-	-	39,7	1,2
	#2	39,4	37,9	40,8	38,6		
	#3	40,8	41,2	-	-		
<b>MO</b> (% m.s.)	#1	33,9	36,2	35,7	35,7	37,5	2,4
	#2	39,6	39,1	-	-		
	#3	39,9	40,1	-	-		
<b>Densidade</b> (g m.s./l)	#1	473,4	-	-	-	479,5	5,4
	#2	481,8	-	-	-		
	#3	483,3	-	-	-		

**Tabela I.2 – Caracterização dos substratos orgânicos de pinheiro – pH, CE, Humidade e MO**

Parâmetro	Substrato de pinheiro	Medições/Determinações				Média	Desvio padrão
<b>pH</b> (unidades de pH)	Caruma verde fresca	3,4	3,4	3,4	3,7	3,5	0,2
	Caruma verde seca	3,5	3,4	3,4	3,9	3,6	0,2
	Caruma do chão	6,2	6,0	6,6	-	6,3	0,3
	Casca	4,4	4,3	4,5	4,6	4,5	0,1
<b>CE</b> (dS/m)	Caruma verde fresca	0,5	0,6	0,5	1,0	0,5	0,0
	Caruma verde seca	2,4	2,6	2,6	-	2,5	0,1
	Caruma do chão	0,4	0,4	-	-	0,4	0,0
	Casca	0,2	0,2	-	-	0,2	0,0
<b>Humidade</b> (%)	Caruma verde fresca	58,6	58,9	58,4	-	58,6	0,3
	Caruma do chão	33,3	33,3	-	-	33,3	0,1
	Casca	27,2	27,9	27,2	-	27,4	0,4
<b>MO</b> (% m.s.)	Caruma verde fresca	96,4	96,3	96,5	-	96,4	0,1
	Caruma do chão	93,5	92,9	93,0	-	93,1	0,4
	Casca	97,1	97,5	97,4	97,4	97,3	0,2

**Tabela I.3 – Resultados da análise elementar dos compostos CRV (Lote #2 e #3), Cr2, 1D e 1.5D, e dos substratos de caruma e casca de pinheiro**

<b>Composto</b>	<b>Réplica</b>	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>S</b>
<b>Substrato orgânico</b>				
<b>CRV #2</b>	<b>1</b>	1,2	20,7	n.d.
	<b>2</b>	1,3	21,1	n.d.
	<b>3</b>	1,3	21,5	n.d.
	<b>Média</b>	1,3	21,1	n.d.
	<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,4	n.d.
<b>CRV #3</b>	<b>1</b>	1,02	20,87	0,16
	<b>2</b>	1,01	21,16	0,16
	<b>Média</b>	1,02	21,02	0,16
	<b>Desvio padrão</b>	0,01	0,21	0,0
<b>1D</b>	<b>1</b>	1,05	22,57	1,08
	<b>2</b>	1,07	23,14	1,15
	<b>Média</b>	1,06	22,86	1,12
	<b>Desvio padrão</b>	0,01	0,40	0,05
<b>1.5D</b>	<b>1</b>	1,09	23,90	1,71
	<b>2</b>	1,12	23,72	1,73
	<b>Média</b>	1,11	23,81	1,72
	<b>Desvio padrão</b>	0,02	0,13	0,01
<b>Cr2</b>	<b>1</b>	1,5	31,2	n.d.
	<b>2</b>	1,5	34,3	n.d.
	<b>3</b>	1,6	34,4	n.d.
	<b>Média</b>	1,5	33,3	n.d.
	<b>Desvio padrão</b>	0,0	1,1	n.d.
<b>Caruma verde</b>	<b>1</b>	1,5	49,7	n.d.
	<b>2</b>	1,6	48,5	n.d.
	<b>3</b>	1,5	49,6	n.d.
	<b>4</b>	1,5	49,1	n.d.
	<b>Média</b>	1,5	49,2	n.d.
<b>Casca</b>	<b>Desvio padrão</b>	0,1	0,5	n.d.
	<b>1</b>	0,4	52,0	n.d.
	<b>2</b>	0,3	52,4	n.d.
	<b>3</b>	0,4	52,4	n.d.
	<b>Média</b>	0,4	52,3	n.d.
	<b>Desvio padrão</b>	0,0	0,1	n.d.

**Tabela I.4 – Caracterização dos lotes de CRV - Granulometria (% matéria fresca).**

Granulometria (mm)		> 25	12,5- 25	6,3 – 12,5	2 – 6,3	< 2	Total (g)
Lote	#1	0,0	15,9	235,9	684,4	1096,5	2032,7
	#2	0,0	22,8	244,2	702,6	1023,5	1993,2
	#3	0,0	9,0	229,4	584,7	1172,6	1995,8
	Soma (g)	0,0	47,8	709,6	1971,7	3292,7	6021,7
média (%)		0,0	0,8	11,8	32,7	54,7	
desvio padrão (%)		0,0	0,3	0,4	3,1	3,8	



## II. ACIDIFICAÇÃO DO CRV COM SUBSTRATOS ORGÂNICOS

**Tabela II.1 – Influência da Granulometria e da mistura de caruma de pinheiro no pH do CRV.**

Mistura de caruma de pinheiro, % m.s.	Granulometria	
	1 mm	10 mm
0%	-	9,0
7%	-	8,6
10%	7,7	-
13%	-	8,4
23%	-	8,0
30%	6,7	7,7
42%	-	7,3
50%	6,0	7,1
80%	4,8	-

**Tabela II.2 – Influência da Granulometria e da mistura de casca de pinheiro no pH do CRV.**

Mistura de casca de pinheiro, % m.s.	Granulometria	
	1 mm	10 mm
0%	9,0	9,1
10%	8,3	8,4
15%	-	8,4
20%	-	8,1
30%	7,7	7,8
40%	-	7,6
50%	7,2	-
60%	-	7,1
80%	6,3	6,8
100%	4,3	4,3

**Tabela II.3 – Variação de pH e CE do composto Cr1, no decorrer do ensaio de estabilização da caruma de pinheiro.**

Dia	pH	CE (dS/m)
0	6,0	2,2
3	6,5	2,1
6	7,0	1,7
9	6,9	1,9
13	7,3	1,8
17	7,3	1,6
20	7,6	1,4
24	7,8	1,3
27	7,8	1,3

**Tabela II.4 – Dados não tratados de temperaturas registadas no teste de auto-aquecimento em vasos de Dewar para os compostos CRV, Cr1 (em duplicado), Cr2, e Csc (com 35% e 40% de humidade).**

Temperaturas, °C										
Duração do ensaio, d	Ambiente	Cr1 A	Cr1 B	Ambiente	CRV	Cr2	Ambiente	Csc 35%	Ambiente	Csc 40%
0,00	22,3	24,6	23,4	23,7	17,1	18,2	33,7	25,7	28,6	24,5
0,04	22,4	24,7	23,5	23,9	17,3	18,3	33,8	26,0	28,7	24,6
0,08	22,5	24,8	23,6	24,1	17,4	18,4	33,8	26,4	28,7	24,8
0,13	22,5	24,9	23,7	24,2	17,6	18,6	33,7	26,8	28,8	24,9
0,17	22,5	25,0	23,8	24,1	17,8	18,7	33,6	27,1	28,9	25,1
0,21	22,5	25,0	23,9	24,1	18,0	18,8	33,6	27,4	29,0	25,3
0,25	22,4	25,2	24,0	24,1	18,3	18,9	33,7	27,7	29,1	25,4
0,29	22,3	25,3	24,2	24,1	18,5	19,0	33,6	27,9	29,1	25,6
0,33	22,2	25,4	24,3	24,0	18,7	19,1	33,5	28,2	28,9	25,8
0,38	22,1	25,6	24,5	24,0	18,9	19,3	33,5	28,4	28,7	25,9
0,42	22,0	25,7	24,7	24,0	19,1	19,3	33,3	28,6	28,6	26,0
0,46	21,9	25,9	24,9	23,9	19,2	19,4	33,2	28,8	28,6	26,1
0,50	21,9	26,1	25,1	23,9	19,4	19,5	33,1	29,0	28,6	26,2
0,54	21,8	26,4	25,3	23,8	19,5	19,6	33,1	29,1	28,6	26,3
0,58	21,8	26,6	25,6	24,0	19,7	19,7	33,1	29,3	28,6	26,4
0,63	21,7	26,9	25,8	24,2	19,9	19,8	33,3	29,4	28,5	26,5
0,67	21,7	27,2	26,1	24,4	20,0	19,8	33,4	29,6	28,5	26,6
0,71	22,0	27,6	26,5	24,4	20,2	19,9	33,4	29,7	28,4	26,6
0,75	22,3	28,0	26,9	24,5	20,3	20,0	33,6	29,9	28,4	26,7
0,79	22,4	28,6	27,4	24,6	20,5	20,1	33,8	30,1	28,9	26,8
0,83	22,4	29,3	28,0	24,6	20,7	20,2	33,7	30,3	29,0	26,8
0,88	22,4	30,1	28,7	24,8	20,8	20,3	33,7	30,5	29,1	27,0
0,92	22,4	31,0	29,5	24,8	21,0	20,4	33,7	30,6	29,1	27,0
0,96	22,4	32,1	30,4	24,9	21,1	20,5	33,6	30,8	29,1	27,1
1,00	22,5	33,4	31,5	25,1	21,3	20,6	33,6	30,9	29,1	27,2
1,04	22,5	35,0	32,8	25,1	21,4	20,7	33,8	31,1	29,2	27,3
1,08	22,5	36,7	34,2	25,2	21,6	20,8	33,9	31,2	29,2	27,4
1,13	22,5	38,4	35,9	25,2	21,7	20,9	33,9	31,4	29,3	27,5
1,17	22,4	40,4	37,6	25,1	21,8	21,0	34,0	31,5	29,3	27,6
1,21	22,3	42,3	39,4	25,1	21,9	21,1	34,0	31,6	29,4	27,6
1,25	22,2	44,2	41,3	25,1	22,1	21,2	34,0	31,7	29,5	27,8
1,29	22,1	45,9	43,2	25,0	22,2	21,2	34,0	31,8	29,5	27,8
1,33	21,9	47,5	45,0	24,9	22,3	21,3	33,9	31,9	29,4	27,9
1,38	21,8	49,0	46,6	24,9	22,4	21,4	33,9	32,0	29,3	28,0
1,42	21,7	50,4	48,0	24,8	22,5	21,4	33,9	32,0	29,3	28,0
1,46	21,6	51,6	49,4	24,7	22,6	21,5	33,8	32,1	29,3	28,0
1,50	21,5	52,7	50,6	24,7	22,6	21,6	33,8	32,1	29,2	28,1
1,54	21,4	53,6	51,6	24,6	22,7	21,6	33,7	32,2	29,2	28,1
1,58	21,3	54,1	52,4	24,8	22,8	21,6	33,7	32,2	29,0	28,1
1,63	21,2	54,4	53,0	25,0	22,9	21,7	33,8	32,2	29,0	28,2
1,67	21,2	54,8	53,4	24,8	22,9	21,7	33,6	32,3	29,0	28,2
1,71	21,8	55,2	53,8	24,3	23,0	21,7	33,8	32,3	28,9	28,2
1,75	21,9	55,7	54,2	24,9	23,0	21,8	33,6	32,4	28,9	28,2
1,79	21,9	56,2	54,7	24,8	23,1	21,8	33,6	32,4	28,8	28,2
1,83	21,9	56,7	55,2	24,9	23,1	21,8	33,7	32,4	28,8	28,1
1,88	21,9	57,3	55,7	25,2	23,2	21,8	33,7	32,5	28,7	28,1
1,92	21,8	57,7	56,2	25,4	23,2	21,9	33,8	32,5	28,6	28,1
1,96	21,8	58,2	56,6	25,4	23,3	21,9	33,8	32,6	28,4	28,1
2,00	21,9	58,6	57,0	25,6	23,4	21,9	33,8	32,6	28,4	28,1
2,04	22,0	59,0	57,4	25,8	23,5	22,0	33,9	32,6	28,6	28,1
2,08	22,1	59,4	57,8	25,9	23,5	22,0	33,9	32,7	28,8	28,1
2,13	22,2	59,8	58,1	25,8	23,6	22,1	33,8	32,7	29,0	28,1
2,17	22,2	60,1	58,4	25,7	23,7	22,2	33,6	32,7	29,0	28,1
2,21	22,2	60,4	58,6	25,6	23,7	22,2	33,4	32,7	29,0	28,1
2,25	22,1	60,7	58,9	25,5	23,8	22,3	33,2	32,7	29,0	28,1
2,29	22,1	60,9	59,0	25,4	23,8	22,3	33,1	32,7	29,0	28,1
2,33	22,0	61,1	59,2	25,4	23,9	22,4	33,0	32,7	28,9	28,2
2,38	21,9	61,3	59,4	25,3	23,9	22,4	32,9	32,7	28,7	28,1
2,42	21,9	61,4	59,5	25,2	23,9	22,4	32,8	32,6	28,6	28,1
2,46	21,8	61,4	59,6	25,0	23,9	22,4	32,6	32,6	28,5	28,1
2,50	21,7	61,5	59,7	24,9	23,9	22,4	32,5	32,5	28,4	28,0
2,54	21,6	61,6	59,7	24,9	24,0	22,4	32,4	32,5	28,4	28,0
2,58	21,5	61,6	59,8	25,2	24,0	22,4	32,3	32,4	28,4	28,0
2,63	21,4	61,6	59,8	25,4	24,0	22,5	32,3	32,3	28,4	27,9

Duração do ensaio, d	Ambiente	Cr1 A	Cr1 B	Ambiente	CRV	Cr2	Ambiente	Csc 35%	Ambiente	Csc 40%
2,67	21,4	61,6	59,7	25,5	24,0	22,5	31,4	32,3	28,3	27,9
2,71	22,0	61,5	59,7	25,6	17,1	22,5	30,8	32,2	28,3	27,8
2,75	22,0	61,4	59,7	25,7	24,1	22,6	30,5	32,0	28,3	27,8
2,79	22,0	61,4	59,6	25,8	24,1	22,6	30,5	31,9	28,4	27,8
2,83	22,0	61,4	59,5	25,8	24,1	22,7	30,8	31,8	28,6	27,8
2,88	22,0	61,3	59,4	25,9	24,2	22,7	31,0	31,7	28,7	27,7
2,92	22,0	61,1	59,4	26,0	24,2	22,7	31,0	31,6	28,7	27,7
2,96	22,1	61,0	59,3	26,0	24,2	22,8	31,0	31,5	28,8	27,8
3,00	22,1	60,9	59,2	26,1	24,3	22,8	31,0	31,5	28,8	27,8
3,04	22,2	60,8	59,0	26,1	24,3	22,8	31,0	31,4	28,9	27,8
3,08	22,3	60,6	59,0	26,0	24,4	22,9	30,9	31,3	28,9	27,8
3,13	22,3	60,6	58,8	25,9	24,4	22,9	30,7	31,2	29,0	27,8
3,17	22,4	60,4	58,6	25,8	24,4	22,9	30,5	31,2	29,0	27,8
3,21	22,4	60,3	58,6	25,6	24,5	22,9	30,4	31,1	29,1	27,9
3,25	22,4	60,2	58,5	25,4	24,5	22,9	30,3	31,0	29,2	27,9
3,29	22,3	60,0	58,3	25,3	24,5	23,0	30,1	30,9	29,2	27,9
3,33	22,3	59,9	58,2	25,2	24,5	23,0	30,0	30,8	29,2	28,0
3,38	22,2	59,8	58,0	25,2	24,5	23,0	29,9	30,7	29,0	28,0
3,42	22,2	59,7	57,8	25,1	24,5	22,9	29,7	30,6	28,9	28,0
3,46	22,2	59,5	57,7	25,1	24,5	22,9	29,6	30,5	28,9	28,0
3,50	22,1	59,4	57,6	24,9	24,5	22,9	29,5	30,4	28,8	27,9
3,54	22,1	59,3	57,4	24,9	24,4	22,9	29,4	30,3	28,7	27,9
3,58	22,0	59,1	57,2	25,1	24,4	22,9	29,4	30,2	28,6	27,9
3,63	21,9	59,0	57,0	25,3	24,4	22,9	29,3	30,1	28,6	27,8
3,67	22,0	58,9	56,9	25,4	24,4	22,9	29,1	30,0	28,5	27,8
3,71	22,2	58,7	56,6	25,5	24,4	22,9	28,6	29,9	28,4	27,8
3,75	22,2	58,6	56,5	25,4	24,4	22,9	28,8	29,7	28,4	27,8
3,79	22,4	58,4	56,2	25,4	24,4	22,9	29,0	29,6	28,8	27,7
3,83	22,4	58,2	56,1	25,5	24,4	22,9	29,1	29,6	29,0	27,8
3,87	22,5	58,2	55,9	25,5	24,4	22,8	28,5	29,5	29,1	27,8
3,92	22,6	58,0	55,8	25,6	24,4	22,8	28,2	29,3	29,0	27,8
3,96	22,6	57,8	55,6	25,6	24,4	22,8	28,7	29,2	29,0	27,8
4,00	22,7	57,8	55,4	25,6	24,4	22,8	29,0	29,2	29,1	27,8
4,04	22,8	57,6	55,2	25,6	24,4	22,8	29,2	29,1	29,1	27,8
4,08	22,8	57,4	55,0	25,6	24,4	22,8	29,2	29,0	29,3	27,8
4,12	22,9	57,4	54,9	25,5	24,4	22,8	29,2	29,0	29,3	27,9
4,17	22,9	57,2	54,6	25,4	24,4	22,8	29,1	28,9	29,4	27,9
4,21	22,9	57,0	54,5	25,3	24,4	22,8	29,4	28,8	29,4	28,0
4,25	22,8	56,9	54,2	25,3	24,4	22,8	29,5	28,8	29,4	28,0
4,29	22,7	56,7	54,1	25,2	24,4	22,8	29,6	28,8	29,3	28,0
4,33	22,7	56,5	53,8	25,1	24,4	22,8	29,6	28,8	29,3	28,0
4,38	22,6	56,3	53,6	25,1	24,4	22,8	29,7	28,8	29,2	28,0
4,42	22,5	56,1	53,4	25,1	24,4	22,8	29,7	28,8	29,1	28,0
4,46	22,4	55,8	53,1	25,0	24,4	22,8	29,6	28,8	29,0	28,0
4,50	22,3	55,7	52,9	24,9	24,4	22,8	29,6	28,8	28,9	28,0
4,54	22,2	55,4	52,6	24,9	24,3	22,7	29,6	28,8	28,9	28,0
4,58	22,2	55,2	52,3	24,8	24,3	22,7	29,5	28,7	28,8	28,0
4,63	22,0	54,9	52,1	24,8	24,3	22,7	29,5	28,7	28,7	27,9
4,67	22,0	54,6	51,8	24,7	24,3	22,7	29,5	28,7	28,6	27,9
4,71	22,3	54,4	51,5	24,8	24,2	22,7	29,5	28,7	28,6	27,8
4,75	22,2	54,1	51,2	24,8	24,2	22,6	29,4	28,6	28,5	27,8
4,79	22,4	53,9	51,0	25,0	24,2	22,6	29,4	28,6	28,5	27,8
4,83	22,4	53,4	50,7	24,8	24,2	22,6	29,5	28,6	28,5	27,7
4,88	22,9	53,3	50,4	24,6	24,2	22,6	29,5	28,6	28,6	27,7
4,92	22,9	53,0	50,1	24,6	24,2	22,6	29,5	28,6	28,7	27,7
4,96	23,3	52,8	49,8	24,9	24,1	22,6	29,6	28,6	28,8	27,7
5,00	23,8	52,5	49,6	25,1	24,1	22,6	29,6	28,6	28,9	27,7
5,04	24,2	52,2	49,4	25,2	24,1	22,6	29,6	28,6	29,0	27,7
5,08	24,7	52,0	49,0	25,3	24,1	22,6	29,6	28,6	29,1	27,7
5,13	24,8	51,8	48,9	25,3	24,2	22,6	29,6	28,6	29,1	27,7
5,17	24,9	51,6	48,6	25,3	24,2	22,6	29,6	28,6	29,3	27,8
5,21	25,0	51,4	48,4	25,3	24,2	22,6	29,5	28,5	29,3	27,8
5,25	24,9	51,2	48,2	25,2	24,2	22,6	29,5	28,5	29,3	27,8
5,29	24,9	51,0	47,9	25,2	24,2	22,6	29,4	28,5	29,3	27,8
5,33	24,9	50,9	47,7	25,2	24,2	22,6	29,4	28,5	29,2	27,9
5,38	24,9	50,6	47,4	25,2	24,2	22,6	29,3	28,5	29,1	27,9
5,42	24,9	50,4	47,2	25,1	24,2	22,6	29,3	28,4	29,0	27,9
5,46	24,9	50,2	47,0	25,1	24,1	22,6	29,2	28,4	28,9	27,9
5,50	24,8	49,9	46,7	25,0	24,1	22,6	29,2	28,4	28,9	27,9
5,54	24,8	49,7	46,4	24,8	24,1	22,6	29,1	28,4	28,8	27,9

Duração do ensaio, d	Ambiente	Cr1 A	Cr1 B	Ambiente	CRV	Cr2	Ambiente	Csc 35%	Ambiente	Csc 40%
5,58	24,7	49,4	46,1	24,7	24,2	22,6	29,0	28,3	28,7	27,8
5,63	24,7	49,2	45,8	24,5	24,2	22,6	29,0	28,3	28,6	27,8
5,67	24,8	48,9	45,5	24,5	24,2	22,6	29,0	28,2	28,6	27,8
5,71	25,2	48,6	45,2	24,6	24,2	22,6	28,9	28,2	28,5	27,8
5,75	25,1	48,3	44,9	24,7	24,2	22,5	29,0	28,1	28,4	27,7
5,79	25,0	48,0	44,6	24,7	24,2	22,5	28,9	28,1	28,9	27,7
5,83	25,2	47,8	44,2	24,7	24,2	22,5	28,9	28,1	29,1	27,7
5,88	25,3	47,4	43,9	24,7	24,2	22,5	29,0	28,0	29,1	27,8
5,92	25,3	47,1	43,6	24,8	24,1	22,5	29,0	28,0	29,1	27,8
5,96	25,4	46,9	43,3	24,8	24,1	22,4	29,0	28,0	28,9	27,8
6,00	25,4	46,6	43,0	24,9	24,1	22,4	29,1	28,0	28,5	27,8
6,04	25,4	46,2	42,6	24,9	24,1	22,4	29,1	28,0	28,3	27,7
6,08	25,5	45,9	42,3	24,8	24,0	22,4	29,0	28,0	28,1	27,7
6,13	25,7	45,6	42,0	24,7	24,0	22,4	29,0	28,0	27,9	27,7
6,17	25,7	45,4	41,7	24,6	24,0	22,3	29,0	28,0	27,9	27,7
6,21	25,7	45,0	41,4	24,5	24,0	22,3	28,9	28,0	27,9	27,7
6,25	25,7	44,8	41,1	24,5	24,0	22,3	28,9	27,9	27,8	27,6
6,29	25,7	44,5	40,8	24,4	23,9	22,2	28,8	27,9	27,6	27,6
6,33	25,6	44,2	40,5	24,3	23,9	22,2	28,8	27,9	27,5	27,6
6,38	25,6	43,9	40,2	24,3	23,9	22,2	28,7	27,8	27,4	27,6
6,42	25,6	43,6	39,9	24,3	23,9	22,2	28,6	27,8	27,3	27,5
6,46	25,5	43,3	39,6	24,2	23,9	22,1	28,6	27,8	27,2	27,5
6,50	25,5	43,0	39,3	24,1	23,8	22,1	28,5	27,8	27,1	27,4
6,54	25,4	42,7	39,0	24,1	23,8	22,1	28,4	27,7	27,0	27,4
6,58	25,4	42,4	38,7	24,1	23,8	22,0	28,4	27,7	26,9	27,4
6,63	25,3	42,1	38,4	24,4	23,7	22,0	28,3	27,6	26,8	27,3
6,67	25,4	41,8	38,1	24,4	23,7	22,0	28,3	27,6	26,8	27,2
6,71	25,6	41,4	37,8	24,3	23,7	21,9	28,5	27,6	26,7	27,2
6,75	25,6	41,1	37,6	24,2	23,6	21,9	28,6	27,5	26,5	27,1
6,79	-	-	-	24,2	23,6	21,9	28,7	27,5	26,9	27,0
6,83	-	-	-	24,2	23,6	21,9	28,8	27,5	27,3	27,0
6,88	-	-	-	24,2	23,5	21,8	28,6	27,5	27,4	27,0
6,92	-	-	-	24,3	23,5	21,8	28,2	27,5	27,3	27,0
6,96	-	-	-	-	-	-	28,1	27,5	27,3	27,0



### III. ACIDIFICAÇÃO DO CRV COM ENXOFRE ELEMENTAR

**Tabela III.1 – Volumes de titulação do ferro (II) obtidos nas suspensões preparadas com CRV, resultados expressos em meq de  $H^+$ .kg<sup>-1</sup> e g S<sup>o</sup>.kg<sup>-1</sup> e pH<sub>final</sub> da suspensão.**

Proporção* da suspensão	Volume de titulação	meq $H^+$ .kg <sup>-1</sup>	g S.kg <sup>-1</sup>	pH <sub>final</sub>
<b>20:80</b>	2,00	80	1,3	7,21
<b>50:50</b>	1,90	76	1,2	6,47
<b>70:30</b>	6,70	268	4,3	6,22
<b>90:10</b>	9,10	364	5,8	6,08
<b>100:0</b>	12,10	484	7,7	5,99

\* Proporção de diluição de FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 2% (m/v) em água destilada (tipo II) em 100 ml.

**Tabela III.2 – Resultados de pH e CE no decorrer do ensaio de incubação dos compostos de controlo e organo-minerais preparados com CRV.**

		Compostos							
Tempo de ensaio, d		0D	0.5D	0.75D	1D	1.25D	1.5D	*0D	*1D
0		9,2	9,1	9,0	8,9	8,9	8,8	9,2	9,0
3		9,0	8,5	8,4	8,5	8,4	8,3	9,0	8,2
5		9,1	8,2	8,2	8,0	8,1	8,2	9,1	7,9
9		9,2	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	9,0	7,5
17		9,2	7,6	7,4	7,3	7,4	7,2	9,2	7,1
19		9,3	7,5	7,3	7,2	7,2	7,1	9,2	7,0
25		9,3	7,4	7,1	6,9	6,9	6,8	9,3	6,9
28		9,3	7,5	7,1	6,9	6,7	6,6	9,3	6,9
32		9,3	7,5	7,0	6,8	6,5	6,5	9,3	6,9
36		9,1	-	-	6,8	6,4	6,2	-	-
39		9,2	-	-	6,7	6,3	6,1	-	-
41		9,2	-	-	6,7	6,3	6,1	-	-
CE (dS/m)	inicial	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2
	final	1,0	2,5	3,2	3,4	3,7	3,8	1,0	3,3

**Tabela III.3 – Resultados da regressão exponencial do  $\text{pH}_d$  no decorrer do ensaio de incubação, com os compostos organo-minerais produzidos.**

Compostos	a	r	$R^2$
<b>0.5D</b>	8,3100	0,0040	0,77
<b>0.75D</b>	8,3449	0,0061	0,92
<b>1D</b>	8,1994	0,0056	0,90
<b>1.25D</b>	8,3793	0,0075	0,98
<b>1.5D</b>	8,3958	0,0082	0,99
<b>*1D</b>	8,0593	0,0059	0,86

**Nota 1:** Equação  $\text{pH}_d = a \cdot \exp(r \cdot d)$ , onde:

$\text{pH}_d$  - tempo d (em dias);

a, r - constantes da regressão.

**Nota 2:** os resultados obtidos no dia 0 de ensaio, não foram considerados por incompatibilidade com a regressão exponencial.

#### IV. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESPOSTA DAS PLANTAS

Tabela IV.1 – Dados recolhidos ao dia 5 e ao final do ensaio de germinação e crescimentos das plantas.

	Composto	5º dia	Ao final de ensaio	
		Sementes germinadas	Nº de plantas	Peso das plantas por vaso, g
1ª fase	Controlo A	19	18	8,16
		18	18	8,80
		20	20	8,95
		20	18	6,95
		20	20	6,62
	CRV	20	20	7,65
		20	19	6,14
		18	18	6,87
	Cr1	17	18	0,73
		15	16	0,94
		10	12	0,59
		13	14	0,64
		19	18	2,15
	Cr2	19	19	3,13
		20	20	2,90
		19	19	3,01
2ª fase	Controlo B	20	18	7,77
		19	16	7,54
		19	16	6,47
		18	16	4,73
	Csc	20	17	4,47
		18	15	4,77
		17	15	7,50
	*0D	19	16	7,43
		20	20	8,60
		19	18	5,04
	*1D	18	17	5,15
		19	17	5,28
3ª fase	Controlo C	20	17	10,4
		20	17	10,7
		20	16	9,7
		19	16	16,6
		19	17	16,0
	0D	20	18	16,6
		19	18	13,2
		19	19	13,4
	1D	19	16	12,6
		20	20	14,6
		17	16	11,1
		19	16	10,7
		19	16	10,7

**Tabela IV.2 – pH e CE inicial das misturas preparadas, e síntese do tratamento estatístico e de resultados obtidos nos índices de inibição de germinação e crescimento das plantas.**

<b>Substratos</b>	<b>pH inicial</b>	<b>CE inicial (dS/m)</b>	<b>Taxa de germinação média (TGm)</b>	<b>Coefficiente de variância da taxa germinação (CVG)</b>	<b>Inibição germinação (InG)</b>	<b>Peso fresco médio das plantas (PFm)</b>	<b>Coefficiente de variância do peso fresco das plantas (CPF)</b>	<b>Inibição de crescimento (InC)</b>
<b>Controlo A</b>	5,3	1,2	96,3	5,0	-	0,444	9,6	-
<b>CRV</b>	7,3	1,6	97,5	5,1	-1,3	0,355	9,0	20,1
<b>Cr1</b>	5,7	2,3	68,8	21,7	28,6	0,049	15,8	89,1
<b>Cr2</b>	5,9	1,7	96,3	2,6	0,0	0,147	13,7	66,9
<b>Controlo B</b>	6,7	0,6	96,7	2,4	-	0,436	7,7	-
<b>Csc</b>	5,1	0,5	93,3	5,1	3,4	0,292	9,5	32,9
<b>*0D</b>	7,5	1,0	93,3	6,7	3,4	0,465	7,5	-6,7
<b>*1D</b>	6,2	2,8	93,3	2,5	3,4	0,298	5,3	31,7
<b>Controlo C</b>	6,4	0,6	100,0	0,0	-	0,616	2,0	-
<b>0D</b>	7,5	1,2	96,7	2,4	3,3	0,967	6,4	-57,0
<b>1D</b>	5,8	3,1	95,0	3,0	5,0	0,742	5,6	-20,5
<b>1.5D</b>	5,0	3,6	93,3	4,4	6,7	0,698	4,4	-13,3